

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



Análisis comparativo técnico – económico de  
plataformas elevadoras y andamios colgantes en  
trabajos de acabados en fachadas

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

Autor: Sebastián Pérez-Albela Rodríguez

Asesor: Iván Enrique Bragagnini Rodríguez

Lima, agosto del 2020

## RESUMEN

En el Perú, el déficit habitacional se estima en 1.9 millones de viviendas, teniendo como base el censo realizado en 2017. A inicios de ese mismo año, un estudio elaborado por la consultora HGP Group, reportó que el déficit habitacional de Lima alcanzó las 612,464 unidades. Para poder contrarrestar este problema, es fundamental la inversión pública y privada en proyectos multifamiliares que puedan cubrir la demanda y satisfacer las necesidades de la población. Dichos proyectos deben contemplar la construcción de edificios de gran altura, pues mediante la construcción vertical se aprovecha mejor el espacio, fomenta el aumento de áreas verdes y con ello el desarrollo sostenible y equilibrado de la ciudad.

Estas construcciones de gran altura suponen un gran reto ingenieril en lo que respecta diseño y construcción. Una etapa de la construcción es la de acabados, la cual es de suma importancia pues genera un gran impacto dentro del cronograma y presupuesto de obra, además de ser lo más valorado por los clientes. Asimismo, la seguridad es un factor muy importante ya que, en base a estadísticas, el sector construcción es uno donde se produce la mayor cantidad de accidentes laborales, siendo una de los más comunes la caída de personal y objetos de altura. Es por ello que para los trabajos de acabados en fachadas se requiere el empleo de equipos de acceso que permitan ejecutar las labores de manera segura y eficiente. Dos de estos equipos de acceso, son los andamios colgantes eléctricos y las plataformas elevadoras.

La presente tesis tiene como objetivo realizar el análisis comparativo técnico-económico de estos tipos de maquinaria teniendo como ejemplo de aplicación dos etapas similares del proyecto de vivienda masiva Ciudad Nueva, ubicado en la Av. Santa Callao. Los andamios colgantes eléctricos pueden ser considerados como el método convencional y consisten en una plataforma generalmente de seis metros suspendida desde la azotea de la edificación mediante cables de acero. Por otro lado, las plataformas elevadoras se componen de mástiles que se arman en toda la altura de la estructura arriostrados a ella máximo cada nueve metros y de plataformas que recorren dichos mástiles.

## INDICE

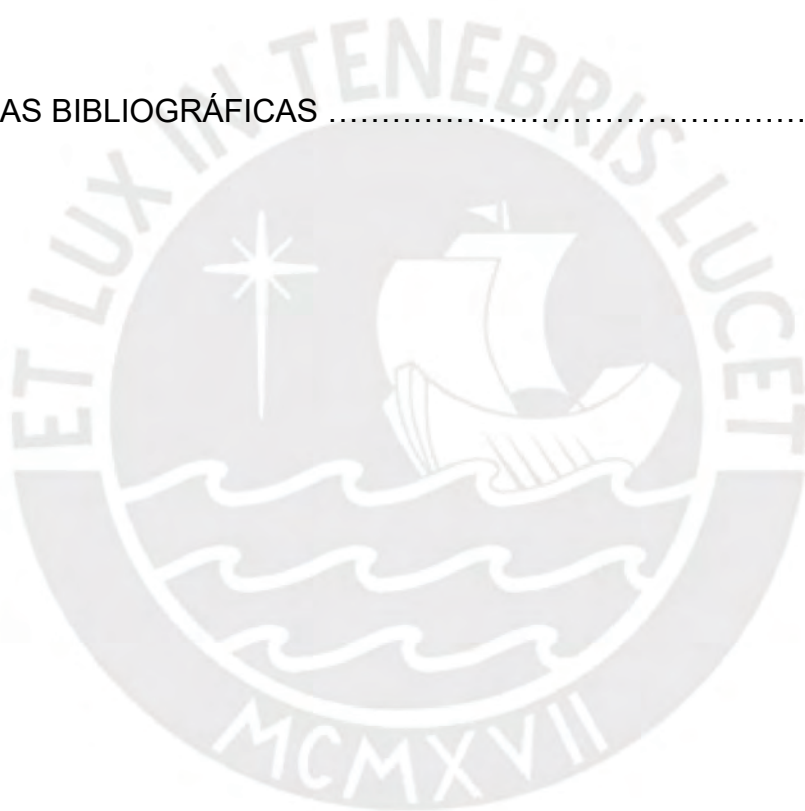
### Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos del proyecto.....	4
1.1.1 Objetivo General.....	4
1.1.2 Objetivos específicos.....	5
1.2 Justificación.....	5
1.3 Hipótesis.....	6
1.4 Antecedentes.....	6
1.5 Metodología.....	10

### Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción de equipos.....	11
2.1.1 Andamios colgantes eléctricos.....	11
2.1.2 Plataformas elevadoras.....	16
2.1.2.1 Monomástiles.....	23
2.1.2.2 Bimástiles.....	24
2.2 Montaje y desmontaje.....	26
2.2.1 Andamios colgantes.....	26
2.2.2 Plataformas elevadoras.....	28
2.3 Seguridad.....	29
2.3.1 Andamios colgantes.....	35
2.3.2 Plataformas elevadoras.....	38

Capítulo 3. ESTUDIO DE CASO: PROYECTO CIUDAD NUEVA	
3.1 Descripción de proyecto.....	41
3.2 Detalles de fachadas.....	44
Capítulo 4. ANÁLISIS COMPARATIVO	
4.1 Análisis técnico.....	47
4.2 Análisis económico.....	66
Capítulo 5. CONCLUSIONES Y LECCIONES APRENDIDAS.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78



## LISTADO DE IMÁGENES

Imagen 2.1. Esquema de andamio colgante eléctrico.....	11
Imagen 2.2. Estructura de soporte.....	12
Imagen 2.3. Partes de estructura de soporte.....	12
Imagen 2.4. Plataforma de aluminio.....	13
Imagen 2.5. Caja eléctrica de control.....	14
Imagen 2.6. Motor.....	14
Imagen 2.7. Cable de acero galvanizado.....	15
Imagen 2.8. Base soporte de mástil.....	16
Imagen 2.9. Base con apoyos tipo husillo.....	17
Imagen 2.10. Grupo motor.....	17
Imagen 2.11. Tablero eléctrico de control.....	18
Imagen 2.12. Cuerpos de mástil.....	18
Imagen 2.13. Arriostres.....	19
Imagen 2.14. Módulo de 1.50m.....	19
Imagen 2.15. Módulo de 0.83m.....	20
Imagen 2.16. Módulo de 0.50m.....	20
Imagen 2.17. Barandilla para módulo de 1.50m.....	21
Imagen 2.18. Barandilla para módulo de 0.83m.....	21
Imagen 2.19. Barandilla para módulo de 0.50m.....	22
Imagen 2.20. Esquema de acceso a plataforma.....	22
Imagen 2.21. Esquema plataforma monomástil.....	23
Imagen 2.22. Esquema plataforma bimástil.....	24
Imagen 2.23. Formato de permiso de trabajos en altura.....	33
Imagen 2.24 Dispositivos de seguridad.....	39
Imagen 3.1. Plano de planta proyecto Ciudad Nueva.....	41

Imagen 3.2. Vista panorámica Proyecto Ciudad Nueva.....	42
Imagen 3.3. Vista frontal ambas etapas.....	42
Imagen 3.4. Frente principal Av. Santa Callao.....	43
Imagen 3.5. Frente Condominio.....	44
Imagen 3.6. Frente Muro ciego.....	45
Imagen 4.1. Esquema posición bimástil fachada Av. Santa Callao.....	50
Imagen 4.2. Sectorización fachada Av. Santa Callao.....	51
Imagen 4.3. Esquema posición andamios fachada Av. Santa Callao .....	52
Imagen 4.4. Esquema posición bimástil fachada Condominio.....	53
Imagen 4.5. Sectorización fachada Condominio.....	54
Imagen 4.6. Esquema posición andamios fachada Condominio.....	55
Imagen 4.7. Esquema posición monomástil fachada Muro ciego.....	56
Imagen 4.8. Sectorización fachada Muro ciego.....	57
Imagen 4.7. Esquema posición andamios fachada Muro ciego.....	58



## LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1. Características eléctricas plataforma monomástil.....	24
Tabla 2.2. Características eléctricas plataforma bimástil.....	25
Tabla 4.1. Rendimiento tarrajeo fachada Av. Santa Callao.....	53
Tabla 4.2. Rendimiento tarrajeo fachada Condominio.....	55
Tabla 4.3. Rendimiento tarrajeo fachada muro ciego.....	58
Tabla 4.4. Rendimiento de pintura torre intermedia.....	60
Tabla 4.5. Tiempo de montaje y desmontaje.....	61
Tabla 4.6. Capacidad de carga .....	62
Tabla 4.7. Velocidad de ascenso y descenso.....	62
Tabla 4.8. Estabilidad.....	63
Tabla 4.9. Facilidad de operación.....	64
Tabla 4.10. Resumen de puntuaciones asignadas.....	65
Tabla 4.11. Alquiler andamios colgantes.....	66
Tabla 4.12. Horas consumidas en andamios colgantes.....	67
Tabla 4.13. Consumo de energía en andamios colgantes.....	68
Tabla 4.14. Alquiler plataformas elevadoras.....	69
Tabla 4.15. Horas consumidas en plataformas elevadoras.....	69
Tabla 4.16. Consumo de energía en plataformas elevadoras.....	70
Tabla 4.17. Resumen comparativo económico .....	71



## 1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la densidad poblacional y el progreso del Perú en los últimos años han generado una gran demanda de viviendas e infraestructura en todo el país. Este efecto se evidencia principalmente en la capital del país, puesto que, de acuerdo con un reporte de la Compañía Peruana de estudios de mercados y opinión pública en abril del 2019, Lima posee un 35.6% de la población peruana total (CPI, 2019). Dicho efecto se puede definir como centralización y según un estudio realizado por la consultora HGP Group, esta se evidencia principalmente a través del déficit de viviendas, que a fines del 2016 alcanzó las 612 464 unidades en Lima. Este déficit se divide en dos tipos, cuantitativo y cualitativo. El primero representa aproximadamente el 41% del total y considera la cantidad viviendas que se deben construir y/o reponer; mientras que el déficit cualitativo simboliza las viviendas existentes con deficiencias en calidad y restricción a los servicios básicos. El déficit cuantitativo es el que principalmente debe ser atendido por medio de la inversión pública y privada, a través de proyectos que satisfagan las necesidades y estén al alcance económico de la población (Gestión, 2017).

Durante los recientes años, Lima ha venido desarrollando una tendencia a la construcción en altura, que comprende básicamente proyectos de viviendas multifamiliares, edificios de oficinas y locales comerciales (CAPECO, 2017). Ello se debe a que mediante este método de construcción se aprovecha mejor el espacio, brinda la posibilidad de una mayor cantidad de áreas verdes y fomenta un desarrollo sostenible y equilibrado de la ciudad (Inmobiliaria Edifica, 2017).

Estas edificaciones de gran altura suponen un reto en general para la ingeniería en lo que respecta diseño, proceso constructivo, materiales, mano de obra calificada, medidas de seguridad, equipos empleados, entre otros. El promedio de altura de los edificios construidos hasta fines del 2016 fue de 12.34 pisos, con un porcentaje



de crecimiento anual estimado en un 9.33%. Según Ricardo Arbulú, expresidente del Instituto de la Construcción y Desarrollo de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO), la tendencia a construir edificaciones de mayor altura seguirá en aumento. Asimismo, menciona ciertas ventajas de vivir en estos edificios, como la tecnología de diseño aplicada, posibilidad de vivir en zonas más céntricas y la reducción de la construcción informal ya que esta se concentra en viviendas de uno o dos pisos. La tendencia en aumento a la construcción de edificios de mayor altura se reconfirma a través del Decreto Supremo N°012-2019-VIVIENDA publicado en marzo del 2019, en el que se aprueba el aumento de altura de edificios frente a avenidas y parques. Ello conlleva a mayores retos ingenieriles, los cuales deben ser resueltos por los profesionales de la construcción, quiénes mediante ideas innovadoras y avances tecnológicos, deberán llevar a cabo estos proyectos de manera satisfactoria.

Un proyecto de construcción consta de varias etapas, una de ellas es la de acabados, cuyas actividades suelen iniciar cuando el casco de la estructura esta avanzado parcialmente o culminado. Esta etapa se puede clasificar en dos tipos, acabados gruesos y acabados finos. Los primeros consisten en los revoques, es decir, en mejorar las imperfecciones de los elementos estructurales y la tabiquería mediante actividades como el solaqueo, tarrajeo, lijado, entre otros. Por otro lado, los acabados finos son los más atractivos para el cliente. Entre ellos se tiene la pintura interior y exterior, enchapes en pisos y paredes, instalación de ventanas, mamparas y puertas, colocación de zócalos, entre otros. La etapa de acabados se puede clasificar como la más complicada e incidente dentro del cronograma y presupuesto de obra, representando poco más del 50% de dichos ítems, incluyendo el equipamiento. Ello se debe a que presenta una mayor cantidad de actividades, involucrados y un mayor grado de incertidumbre que la etapa de casco. (Zamorano, 2015).

Dentro de la etapa de acabados en edificaciones, los trabajos en fachadas son de los más complejos porque se consideran actividades con un alto grado de riesgo de

caídas de personas, materiales y equipos que pueden ocasionar daños y accidentes graves. Debido a ello, estos tipos de trabajos requieren el uso de equipos que permitan realizar tareas como el tarrajeo y pintura de exteriores de manera productiva, eficiente y segura.

Según estadísticas proporcionadas por el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo correspondientes al mes de marzo del 2020, Lima Metropolitana es la región que presenta la mayor cantidad de accidentes e incidentes de trabajo. De los cuales, dentro de la amplia lista de actividades económicas del país, aproximadamente el 9% ocurren en el sector construcción. Existen diversas formas de accidentes, entre las más comunes se tienen las caídas de personal y de objetos en altura, que representan un total de 20%. (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, 2020).

Antiguamente en el Perú, debido principalmente a la informalidad que presentaban los proyectos de construcción, el factor seguridad no era aplicado ni por las empresas ni por sus trabajadores. Ello se veía reflejado en la gran cantidad de accidentes, incluyendo muertes, que sucedían en las distintas obras alrededor del país. Debido a este problema de seguridad en construcción se promulgó la norma G050 “Seguridad durante la Construcción”, la cual se encarga de establecer las condiciones mínimas indispensables de seguridad en todo proyecto de construcción civil.

Debido a la gran incidencia de la fase de acabados y la seguridad en los proyectos de construcción, la presente tesis busca comparar el uso de los andamios colgantes y las plataformas elevadoras para los trabajos de acabados en fachadas. Para ello se tendrá en cuenta ciertos parámetros que permitan determinar el equipo más eficiente para los trabajos de acabados en fachadas. El análisis comparativo tendrá dos enfoques bien definidos, técnico y económico, el primero orientado en el rendimiento y seguridad mientras que el segundo en los costos. Es por ello que los parámetros base para la comparación serán el rendimiento, velocidad de elevación

y descenso, tiempo de montaje y desmontaje, estabilidad, facilidad de operación y costo de alquiler.

La presente investigación tendrá como estudio de caso dos etapas del proyecto de vivienda masiva Ciudad Nueva, ubicado en la avenida Santa Callao. Dichas etapas son similares, consisten en la construcción de tres torres de quince pisos cada una con una altura de aproximadamente cuarenta metros. En la primera etapa, que contempla la construcción de las torres A, B y C, se emplearon los andamios colgantes para los acabados en fachadas. Para la segunda etapa, torres D, E y F se utilizaron las plataformas elevadoras, por lo que el comparativo se realizará bajo circunstancias semejantes. La metodología aplicada para el análisis será la Escala Likert, la cual consiste en asignar una puntuación a cada parámetro en base a los resultados obtenidos y a la observación en campo, para luego obtener un puntaje final para cada equipo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010). Esta metodología se desarrollará de manera más específica en el subcapítulo 1.5.

Finalmente, con los resultados obtenidos de la comparación de los parámetros técnicos y económicos, se comprobará la veracidad de la hipótesis, la cual plantea que las plataformas elevadoras son más eficientes para los trabajos de acabados en fachadas. Además, se comentarán acerca de las ventajas y desventajas de cada equipo, las lecciones aprendidas durante la recopilación de datos y las conclusiones generales de la investigación.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo general:

Comparar técnica y económicamente los andamios colgantes y las plataformas elevadoras mediante la recopilación y análisis de datos en dos etapas similares del proyecto Ciudad Nueva y poder determinar cuál equipo presenta un mejor balance

costo-beneficio, para que pueda servir de guía a las empresas constructoras y les permita optar por la opción más favorable, dependiendo del tipo de proyecto.

#### 1.1.2 Objetivos específicos:

- Realizar el análisis comparativo de ambos equipos para los trabajos de tarrajeo de fachada de acuerdo con los parámetros mencionados, empleando la Escala Likert.
- Demostrar la influencia del tipo y la calidad de obra a construir en la elección del equipo a emplear para los acabados en fachada.
- Demostrar la incidencia de la etapa de acabados, específicamente los trabajos en fachadas, en el cronograma y presupuesto de un proyecto de construcción.

#### 1.2 Justificación

Los trabajos en altura para los acabados en fachadas son actividades importantes dentro del cronograma y presupuesto de una obra; asimismo, se debe tener en cuenta que la vista exterior (fachada) de los proyectos genera gran valor para el cliente. Debido a ello, la elección sobre el tipo de equipo a usar para realizar el tarrajeo y pintura de fachadas, depende mucho del tipo de edificación a construir, materiales a emplear, calidad requerida, medidas de seguridad necesarias, entre otros. Por ende, una buena decisión puede resultar en un ahorro considerable para la constructora y una reducción del plazo de entrega del proyecto.

### 1.3 Hipótesis

El uso de plataformas elevadoras es más eficiente que los andamios colgantes eléctricos (método convencional) para los trabajos de acabados en fachadas. Ello debido a que poseen una mejor estabilidad para realizar los trabajos, con lo que se consigue una mejor productividad y un impacto positivo en el cronograma y presupuesto del proyecto.

### 1.4 Antecedentes

En la actualidad, debido al constante crecimiento de la construcción en altura, los trabajos de acabados en fachadas requieren de equipos eficientes y seguros que permitan cumplir las labores programadas. Los andamios colgantes y las plataformas elevadoras son equipos que pueden ser empleados para realizar este tipo de actividades. Ambas consisten en plataformas de trabajos capaces de recorrer la fachada de una edificación en toda su altura, teniendo en cuenta las alturas máximas permitidas para cada tipo. Además, son capaces de soportar operarios, materiales y herramientas necesarias para los trabajos que se realicen. Cada equipo posee distintas consideraciones de seguridad para el uso, montaje y desmontaje, operación, etc.

Las diferentes tipologías de andamios pueden clasificarse según su material, sistema, uso, y según sus dimensiones y/o cargas. Han ido evolucionando a lo largo de los años, mejorando su funcionalidad y seguridad principalmente. Los más usados en el mundo de la construcción son los llamados andamios fijos, los cuales antiguamente eran mixtos pues poseían partes de madera y metálicas. En su mayoría, la plataforma de trabajo eran tablones de madera, mientras que las demás partes como los cabezales, diagonales, barandas, rodapiés y uniones eran de metal. Se empleaban para distintas actividades interiores como encofrado, vaciado, tabiquería, pintura, etc. Sin embargo, también eran utilizados para los trabajos en



fachadas, llámese solaqueo, tarrajeo y pintura. Actualmente, esta tipología de andamios sigue siendo una de las más empleadas en obras civiles; con la diferencia que las plataformas son metálicas y las barras (horizontales, verticales y diagonales) son de sección tubular. Estos andamios tubulares se arman en base a una modulación definida por el proveedor, la cual se repite en la cantidad de niveles que se requiera armar. El proceso de montaje es sencillo, comienza con la colocación de las bases del andamio, luego la unión de las barras horizontales y verticales. Posteriormente se colocan las barras diagonales y el primer nivel de la plataforma de trabajo, la cual debe estar bien sujeta de las barras donde se apoya. Los rodapiés se instalan en las plataformas de trabajo para evitar la caída de objetos y herramientas desde el andamio. Luego de tener el primer nivel culminado, se procede con la instalación de la escalera de acceso al segundo nivel y se repiten los pasos mencionados. La altura entre plataformas no debe ser menor a dos metros. Para el desmontaje del sistema, se ejecutan los mismos pasos de manera inversa. Cuando los andamios tubulares son utilizados en fachadas de edificios de gran altura es importante que aproximadamente cada tres niveles se arriostren a la estructura con el fin de asegurar y estabilizar el andamio.

Los primeros andamios colgantes eléctricos, equipo a estudiar en el presente documento, fueron creados alrededor de los años 1960 (Reid, 2011). Con el paso del tiempo han tenido que ir afinando detalles acerca del uso, montaje, desmontaje, para cumplir con las normativas de seguridad que se van actualizando. Esta maquinaria se suspende mediante cables de acero a una estructura de soporte situado en la parte superior de la edificación. Es accionado por los mismos usuarios de la plataforma a través de un tablero eléctrico, previamente instruidos por un personal técnico capacitado.

Los andamios colgantes eléctricos son utilizados mayormente en los trabajos de fachada, ya sea para mantenimiento, solaqueo, tarrajeo y/o pintura. También son empleados para los revoques en ductos de ascensores, pues las modulaciones de sus presentaciones coinciden con las dimensiones típicas de estos.

Por otro lado, las plataformas elevadoras son también equipos de acceso cuyo principal uso está destinado para los trabajos en fachadas, puesto que van arriostradas al casco de la estructura cada tres niveles aproximadamente y pueden abarcar grandes longitudes. El mástil va apoyado sobre una base que debe ser ubicada en un terreno estable, y se levanta a través de varios cuerpos hasta llegar a la altura deseada. Existen dos tipos de plataformas, monomástiles y bimástiles. La diferencia es que las primeras sólo poseen una torre o mástil, mientras que las segundas se componen de dos, lo que le permite abarcar una mayor longitud de plataforma y mayor capacidad de carga. Las plataformas elevadoras o MCWP (Mast Climbing Work Platforms) por sus siglas en inglés, fueron creadas por el año 1980, dato obtenido de la presentación de Cameron Reid en la convención del ERA (European Rental Association) del año 2011 en Ámsterdam, Holanda.

Existen numerosas asociaciones internacionales relacionadas a los diversos equipos de acceso, como lo son los andamios colgantes y plataformas elevadoras. Estas maquinarias de acceso son empleadas en todo tipo de industrias, incluida la construcción. Se pueden considerar tres asociaciones como las más reconocidas en este ámbito. Una de ellas es NASC (National Access & Scaffolding Confederation) y se creó en el Reino Unido en el año 1945 con la finalidad de brindar orientación técnica y de seguridad respecto al uso de andamios y equipos de acceso. Actualmente, son más de 240 compañías quienes están ligadas a esta confederación (NASC, 2018).

La segunda se conoce como SAIA (Scaffold & Access Industry Association), creada en 1972 con la principal misión de educar y fomentar acerca del uso seguro de los distintos equipos de acceso para las industrias. La conforman compañías líderes de la industria, dedicadas principalmente a la fabricación, venta, renta y uso de este tipo de maquinarias (SAIA, 2016).



La tercera es conocida como IPAF (International Powered Access Federation) y es una institución encargada de promover la seguridad y el uso efectivo de todo tipo de equipos de acceso motorizado, como lo son las plataformas elevadoras. Se creó en 1983, y actualmente la conforman más de 1000 compañías principalmente de Estados Unidos y el Reino Unido. Está ligada con las organizaciones de calidad más representativas a nivel mundial, como la ISO (International Organization for Standardization), ANSI (American National Standards Institute) y la EN 280 (European Norme 280). (IPAF, 2014).

Este tipo de equipos requieren criterios y condiciones de seguridad muy rigurosos, puesto que son empleados para trabajos en altura, los cuales presentan un alto riesgo de caídas de personal, materiales, objetos, etc. Existen dos principales instituciones reconocidas a nivel mundial que se encargan de velar por la seguridad y salud de los trabajadores de construcción civil y demás industrias. La OSHA (Occupational Safety and Health Administration) es una entidad creada en 1970 que pertenece al Departamento de Trabajo de los Estados Unidos. Se encarga de velar por la salud y seguridad de los trabajadores de distintos sectores mediante el establecimiento de normativas, enseñanza de las buenas prácticas de trabajo y el constante asesoramiento a las empresas y trabajadores. Uno de sus temas de estudio son las maquinarias para trabajos en altura, tales como los andamios colgantes y las plataformas elevadoras. La OSHA propone las condiciones de seguridad necesarias para un correcto uso y manipulación de los equipos (United States Department of Labor, 2016).

Asimismo, el organismo HSE (Health and Safety Executive) fue creado en 1975 con la principal misión de prevenir las muertes, accidentes y enfermedades en los distintos centros laborales del Reino Unido. La construcción es una de las industrias que están dentro del alcance de la organización. Posee distintas publicaciones relacionadas al uso de equipos para los trabajos en altura (HSE, 2013).

## 1.5 Metodología

La metodología consiste en la recopilación y análisis de datos medidos en etapas de la obra Ciudad Nueva de la Inmobiliaria Paz Centenario, proyecto de vivienda masiva ubicado en la Av. Santa Callao. Los parámetros principales a tener en cuenta para el comparativo serán el rendimiento, tiempo de montaje y desmontaje, velocidad de elevación y descenso, facilidad de operación, capacidad de carga, estabilidad, dispositivos de seguridad y costo de alquiler. También se debe tener en cuenta los aspectos técnicos de los equipos, como longitud y ancho de plataformas, potencia de motores, conexiones eléctricas requeridas, potencia de generador necesaria, etc.

El rendimiento obtenido de las actividades a evaluar, tarrajeo y pintura, se registraron en el reporte diario de producción indicando el metrado ( $m^2$ ) y las horas hombre (hh) empleadas. El rendimiento se mide como el cociente de los recursos empleados entre la cantidad producida ( $hh/m^2$ ).

Para el comparativo se empleará la escala Likert, método de enfoque cuantitativo que básicamente consiste en asignar una puntuación a los ítems a comparar en base a las mediciones en campo y un resultado meta. Posteriormente, se suman las puntuaciones parciales y se obtiene el puntaje final que determinará la mejor opción entre ambos equipos. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010). La escala de puntuación será de 1 a 5, siendo 5 la máxima puntuación posible y la que corresponde al resultado meta. La puntuación asignada se obtendrá de la relación entre el resultado recolectado del ítem y el resultado esperado.

Es importante que el análisis de los equipos se realice en condiciones similares para obtener una comparación válida y justa, es por lo que los datos de ambos equipos de acceso se obtuvieron de dos etapas semejantes del proyecto Ciudad Nueva. Cada etapa comprendía la construcción de tres torres de quince pisos cada una, con cinco departamentos por nivel. En la primera se emplearon los andamios

colgantes para el tarrajeo y pintura de fachadas, mientras que para la segunda se utilizaron las plataformas elevadoras.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Descripción de equipos

#### 2.1.1 Andamios colgantes eléctricos

Considerado el método convencional, son plataformas para trabajos en altura cuyo mecanismo de suspensión es mediante cables de acero. Estos son sujetos a un equipo de soporte ubicado en el techo o azotea de la edificación, el cual posee contrapesos necesarios que eviten el volcamiento del equipo. Cuenta con un equipo motriz y una caja eléctrica de control que debe ser accionada manualmente por un personal capacitado para el correcto funcionamiento del equipo. En la imagen 2.1 se observa el esquema y las partes que componen a un andamio colgante eléctrico común de la marca Ancelsa.



Imagen 2.1. Esquema andamio colgante eléctrico  
Fuente: (Ancelsa, 2015)

Las partes que componen los andamios colgantes eléctricos son las siguientes:

- Estructura de soporte: Estructura muy resistente de acero galvanizado conformada por vigas y bases de soporte. Se posiciona en el techo o

azotea del edificio y sobre la base posterior se deben colocar los contrapesos que brindan equilibrio e impiden el volteo del equipo.



Imagen 2.2. Estructura de soporte  
Fuente: (Ancelsa, 2015)

En la siguiente figura se muestra la vista lateral de la estructura de soporte o también conocido como mecanismo de suspensión, en donde se encuentran enumeradas las partes la componen.

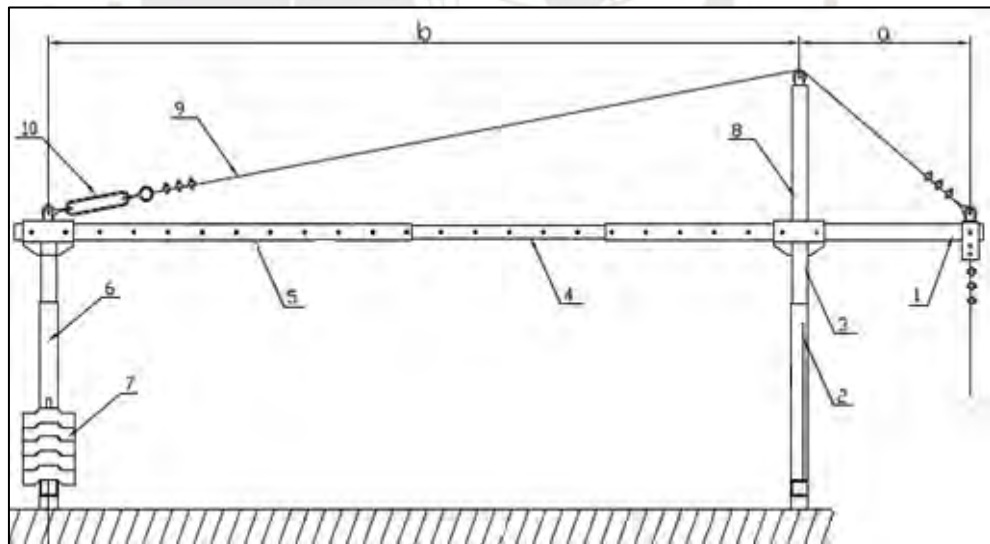


Imagen 2.3. Partes de estructura de soporte  
Fuente: (Ancelsa, 2015)

La parte (1) corresponde a la extensión frontal, donde se amarra el cable de acero que soporta la plataforma suspendida. La parte (2) representa la

base frontal de la estructura, es decir, la que está más cerca de la fachada. La parte (3) es el soporte “T” que une las extensiones medias (4) y traseras (5) con la extensión frontal. Sobre el soporte “T” se coloca la llamada columna superior (8), en cuyo extremo pasa el cable de refuerzo inclinado (9) que va sujetado a tensor (10) en la parte posterior. La extensión trasera y el tensor se apoyan sobre la base trasera (6); asimismo, los contrapesos (7) son colocados sobre esta. La distancia “b” simboliza la separación entre bases y esta debe oscilar entre los 4.40 y 4.60 metros. La distancia frontal “a” representa la separación entre la base delantera y el cable de acero que sujetará la plataforma, esta varía entre 1.30 y 1.70 metros dependiendo de la altura de trabajo.

- Plataforma: Es de aluminio o acero, se arma mediante módulos que poseen un ancho promedio de 0.70 metros y longitudes de 1.50 o 2.0 metros, que permiten alcanzar un máximo de 8.50 metros. Los módulos vienen incorporados con barandillas de protección. En cada esquina de la plataforma armada, se colocan garruchas o ruedas que facilitan su movilización sobre el terreno.



Imagen 2.4. Plataforma de aluminio  
Fuente: (Ancelsa, 2015)



- Caja eléctrica de control: Debe ser accionada manualmente por un personal capacitado; sin embargo, su uso es sencillo. En la imagen 2.5 se pueden observar los botones que posee la caja, los principales son el switch universal de encendido del equipo, el de emergencia para parar el equipo en cualquier instante que se requiera y los destinados para controlar el ascenso y descenso del equipo.

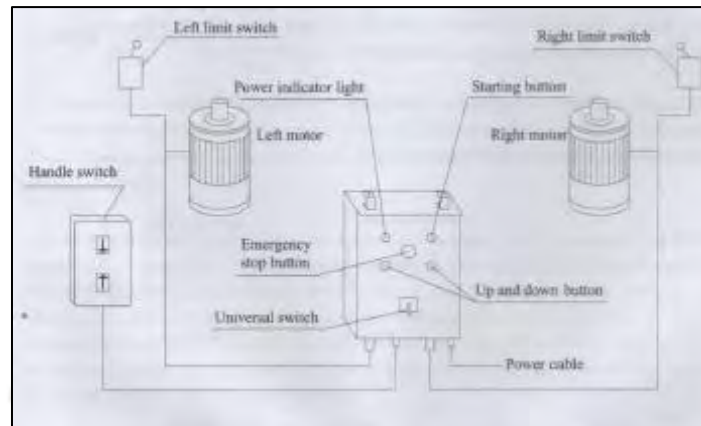


Imagen 2.5. Caja eléctrica de control  
Fuente: (Ancelsa, 2015)

- Equipo Motor: Su tamaño y modelo determinan la capacidad de carga del equipo. Este recibe las señales de la caja de control eléctrica cuando es accionada para su funcionamiento.



Imagen 2.6. Motor  
Fuente: (Ancelsa, 2015)

- Cables de suspensión: Son cables de acero galvanizado que unen el equipo de soporte y la plataforma. Se colocan un par de cables en cada extremo de la plataforma, uno que permite la elevación del equipo y el otro de seguridad. Deben estar a la misma altura para lograr que la plataforma se mantenga nivelada horizontalmente.



Imagen 2.7. Cable de acero galvanizado  
Fuente: (Ancelsa, 2015)

## 2.2 Plataformas Elevadoras

Son plataformas metálicas que se elevan verticalmente por medio de cremalleras a través de un sistema electromecánico. La torre o mástil va fijado y anclado sobre la estructura mediante arriostres, lo que le brinda una buena estabilidad y seguridad al equipo. Asimismo, permite posicionar el equipo a cualquier altura dentro del rango permitido. Su empleo es común en los países desarrollados; en el Perú aún no está muy difundido, aunque con el tiempo son más las empresas que optan por este tipo de maquinarias. Existen dos tipos de plataformas elevadoras: monomástiles y bimástiles. Ambas presentan los siguientes componentes:



- Base: Soporte del mástil que va apoyado sobre el terreno, el cual debe ser uniforme y compacto. Las bases constan de un bastidor rectangular ubicado en la parte central con cuatro apoyos en sus extremos. En cada extremo posee brazos estabilizadores con sus respectivos apoyos, los cuales pueden ser de tipo husillo, gato o una combinación entre ellos. Poseen ruedas que facilitan su traslado antes de empezar el montaje del mástil. Existen 5 maneras de posicionar la base (Ver Imagen 2.8).

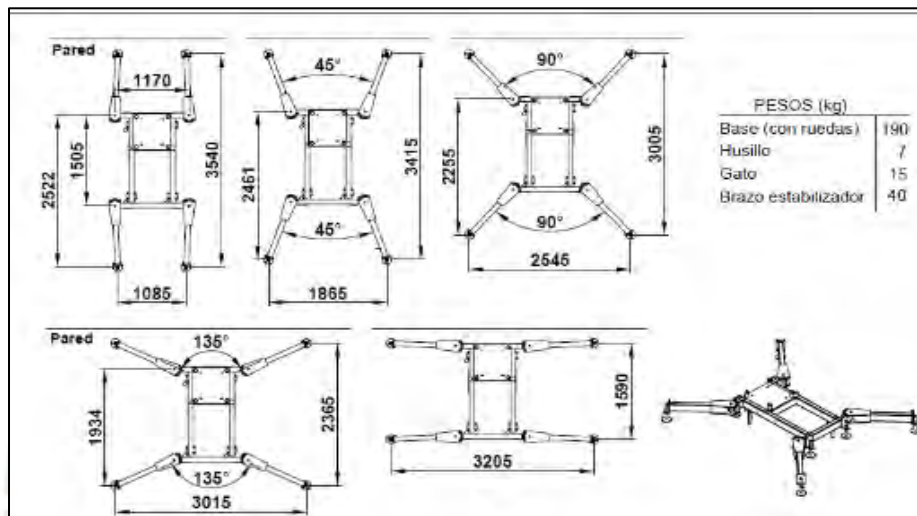


Imagen 2.8. Base apoyada sobre el terreno que soporta el mástil  
Fuente: (Goian, 2005)

Para alturas mayores a 40m, los cuatro apoyos del bastidor necesariamente deben ser de tipo husillo debido a que poseen una mayor estabilidad que los de tipo gato. Sin embargo, los apoyos de los brazos estabilizadores si pueden ser de tipo gato.

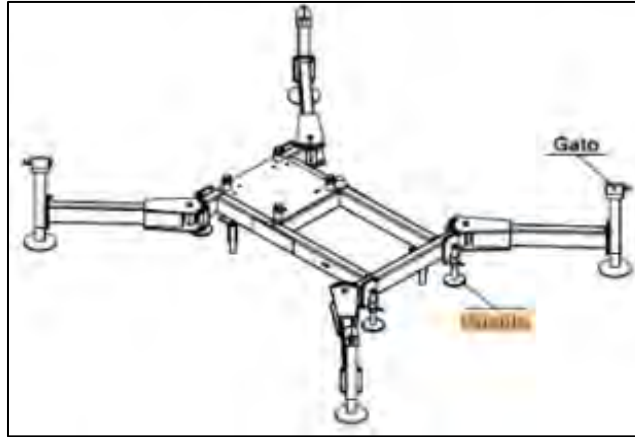


Imagen 2.9. Base con apoyos de bastidor tipo husillo  
Fuente: (Goian, 2005)

- Grupo Motor: Elemento electromecánico que permite el funcionamiento de las plataformas elevadoras. En caso haya falta de energía, se puede utilizar el freno centrífugo para descender la máquina manualmente.

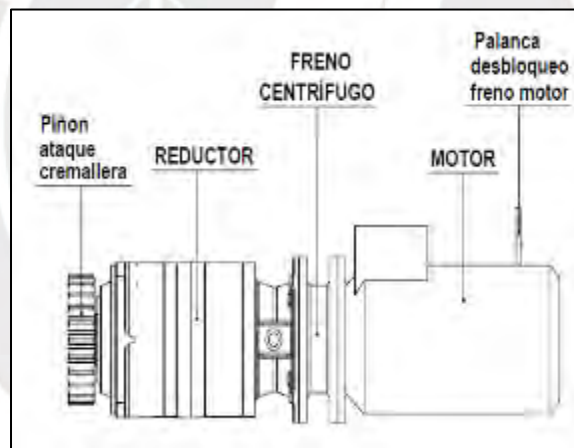


Imagen 2.10. Grupo Motor  
Fuente: (Goian, 2005)

- Tablero eléctrico de control: Se coloca al centro de ambos tipos de plataformas y sirve para accionar el funcionamiento del equipo general. La manipulación del tablero es sencilla, basta con haber tenido una charla de inducción a cargo del personal capacitado. El equipo está programado

para que funcione siempre y cuando las puertas de acceso se encuentren completamente cerradas y la plataforma este nivelada horizontalmente.

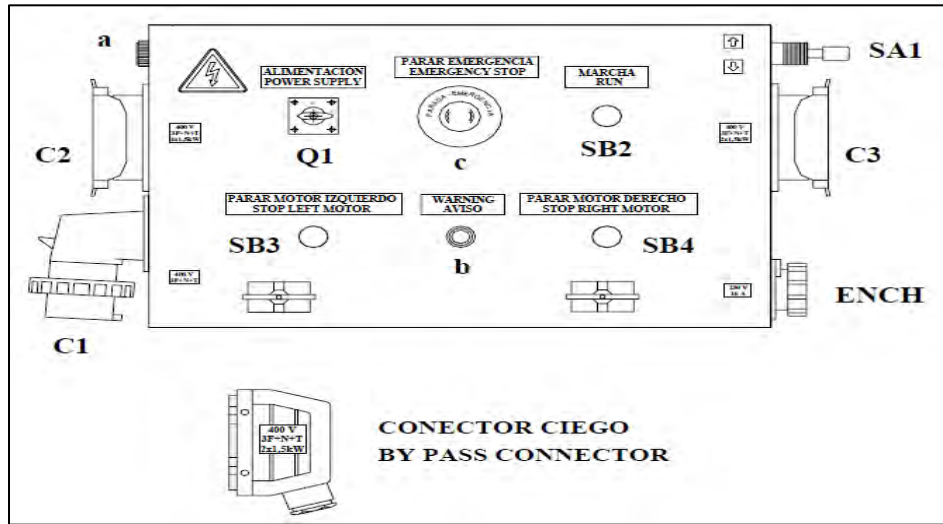
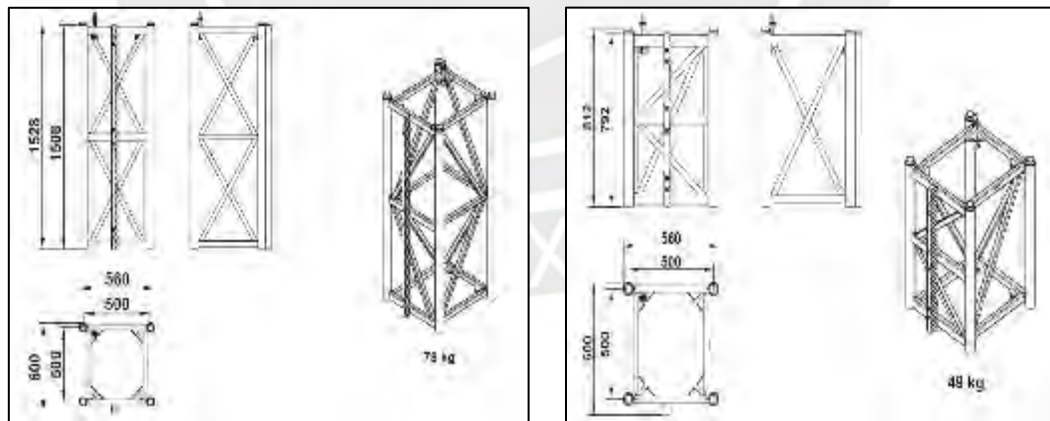


Imagen 2.11. Tablero eléctrico de control  
Fuente: (Goian, 2005)

- Cuerpos de Mástil: Son tramos cuadrados de 0.50x0.50 metros de sección y con alturas de 1.50 y 0.80 metros, los cuales son colocados unos sobre otros para alcanzar la altura deseada de mástil, respetando la altura máxima posible que es de 150 metros para las bimástiles.



a. Cuerpos de mástil de 1.50m

b. Cuerpos de mástil de 0.80m

Imagen 2.12. Cuerpo de mástil  
Fuente: (Goian, 2005)

- **Arriostres:** Sirven para fijar el mástil a la estructura, la máxima separación que puede existir entre ellos es de 9 metros, generalmente 3 pisos. Se compone de dos tirantes y una diagonal. Es importante que se anclen en el encuentro de elementos estructurales verticales y horizontales del edificio.

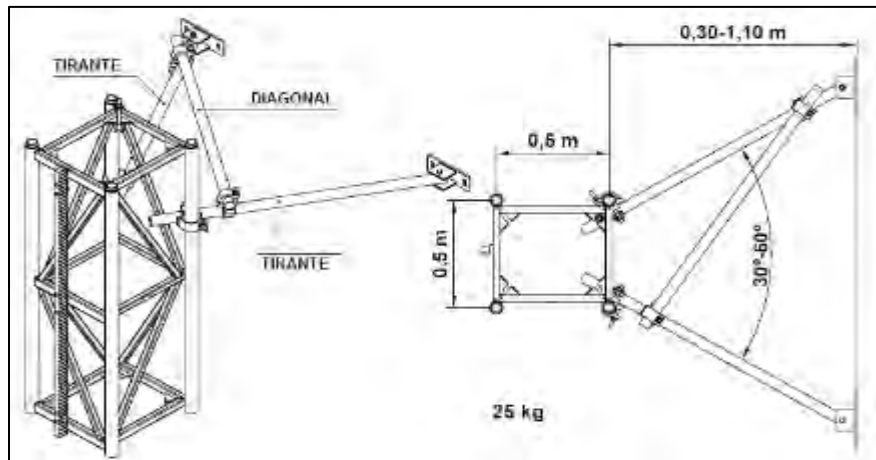


Imagen 2.13. Arriostres  
Fuente: (Goian, 2005)

- **Módulos de plataforma:** Presentan un ancho uniforme de 1.30 metros, pero longitudes variables de 1.50, 0.83 y 0.50 metros, los cuales se unen y combinan para alcanzar la longitud deseada que abarque la superficie de trabajo.

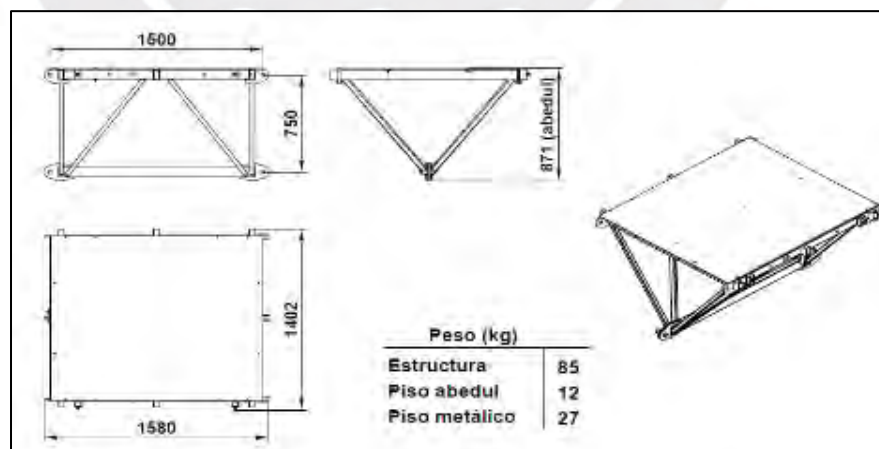


Imagen 2.14. Módulo de 1.50m  
Fuente: (Goian, 2005)

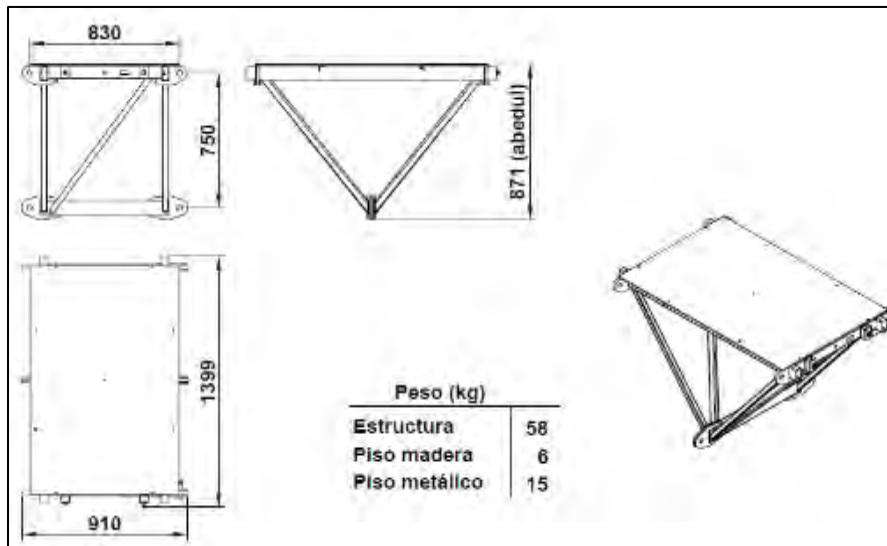


Imagen 2.15. Módulo de 0.83m  
Fuente: (Goian, 2005)

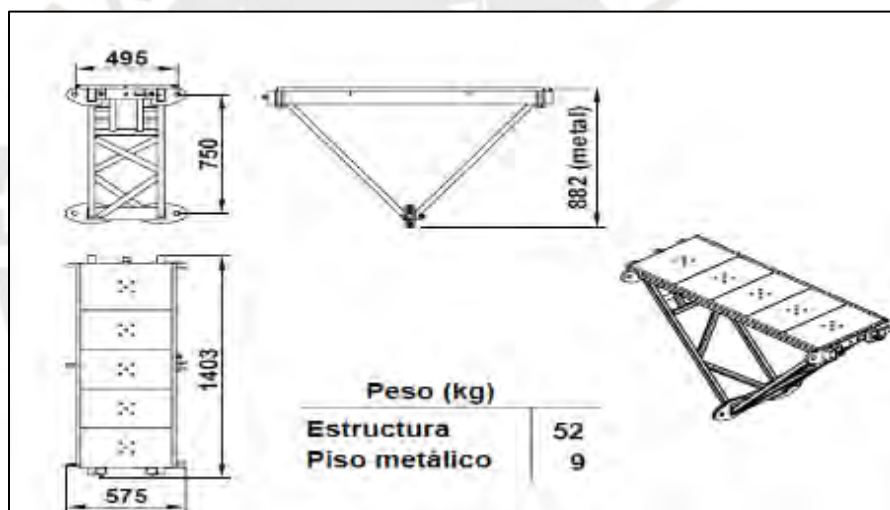


Imagen 2.16. Módulo de 0.50m  
Fuente: (Goian, 2005)

- Barandillas de seguridad: Van colocadas alrededor de todo el perímetro de la plataforma. Sirven de protección para caídas, tanto de personas como objetos, además los arneses pueden sujetarse a estas cuando se desplacen sobre la plataforma. Existen barandillas para cada tipo de módulo.

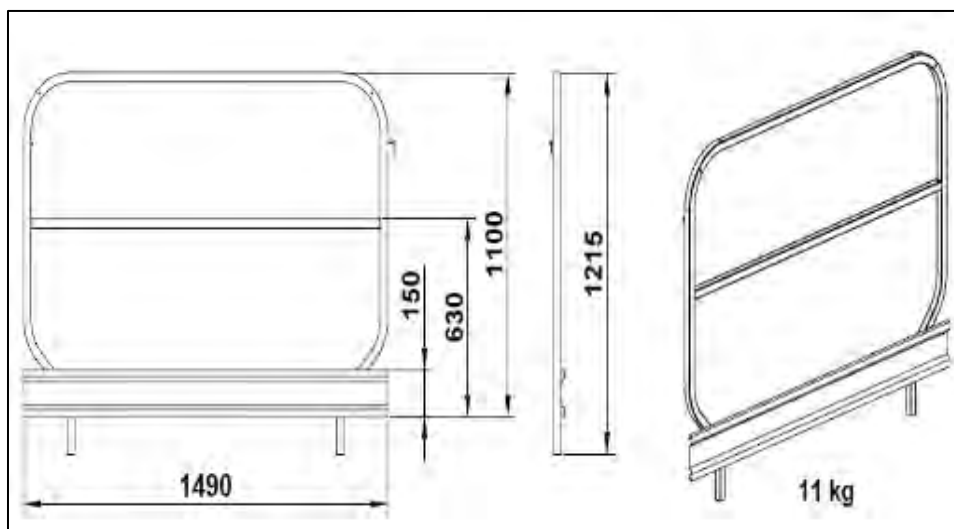


Imagen 2.17. Barandilla para módulo de 1.50m  
Fuente: (Goian, 2005)

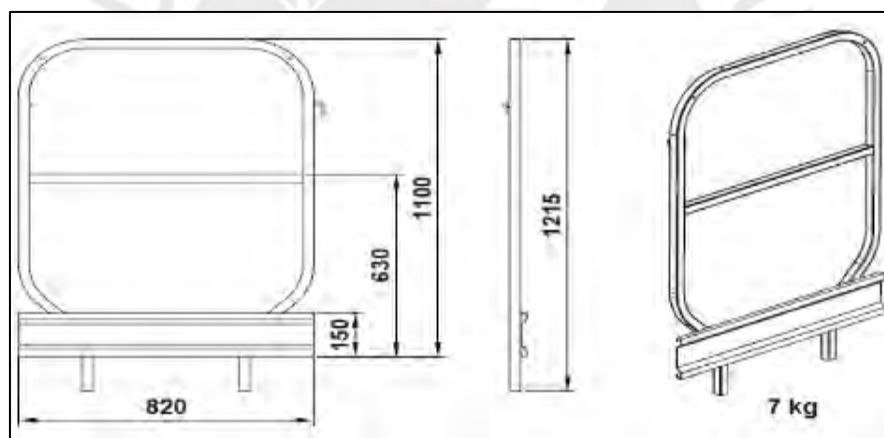


Imagen 2.18. Barandilla para módulo de 0.83 m  
Fuente: (Goian, 2005)



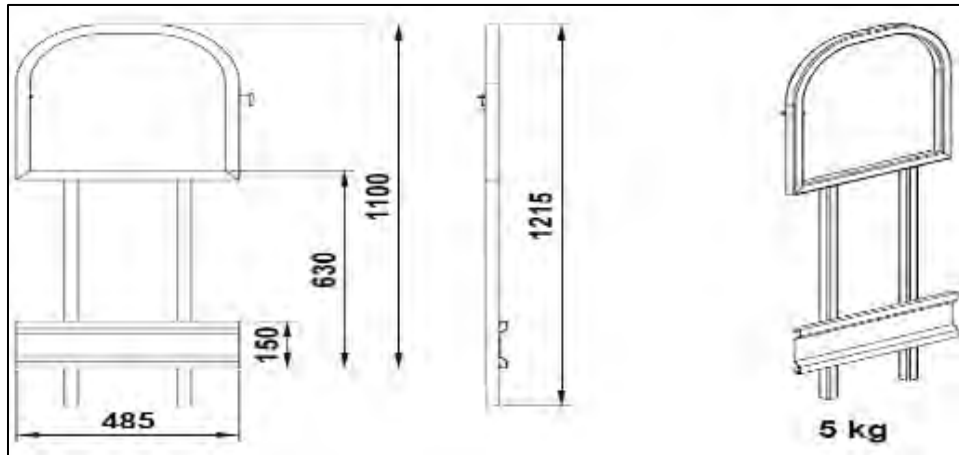


Imagen 2.19. Barandilla para módulo de 0.50 m  
Fuente: (Goian, 2005)

- Acceso a plataforma: Cuenta con una escalera de acceso pues el nivel de la plataforma esta aproximadamente 1.20m sobre el piso de apoyo. Cabe recalcar que, si la puerta no está correctamente cerrada, el equipo no funcionará.

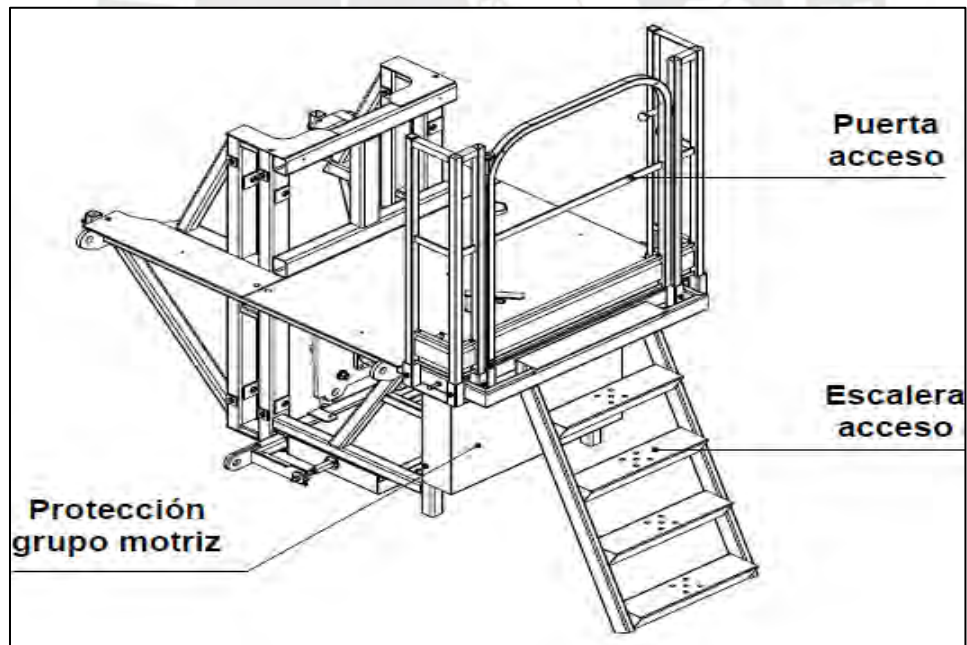


Imagen 2.20. Esquema acceso a plataforma  
Fuente: (Goian, 2005)



### 2.2.1 Monomástiles

Poseen una sola columna o mástil que es accionada por un solo grupo motriz. Los cuerpos de mástil se van colocando sobre la base que está en el terreno de apoyo. Este tipo de plataforma consta de dos tramos voladizos ubicados a cada lado del mástil, los cuales deben tener la misma longitud para que este equilibrado. La longitud máxima es de 13.44 metros, con lo que se puede lograr una capacidad de carga máxima de 2300 kg.

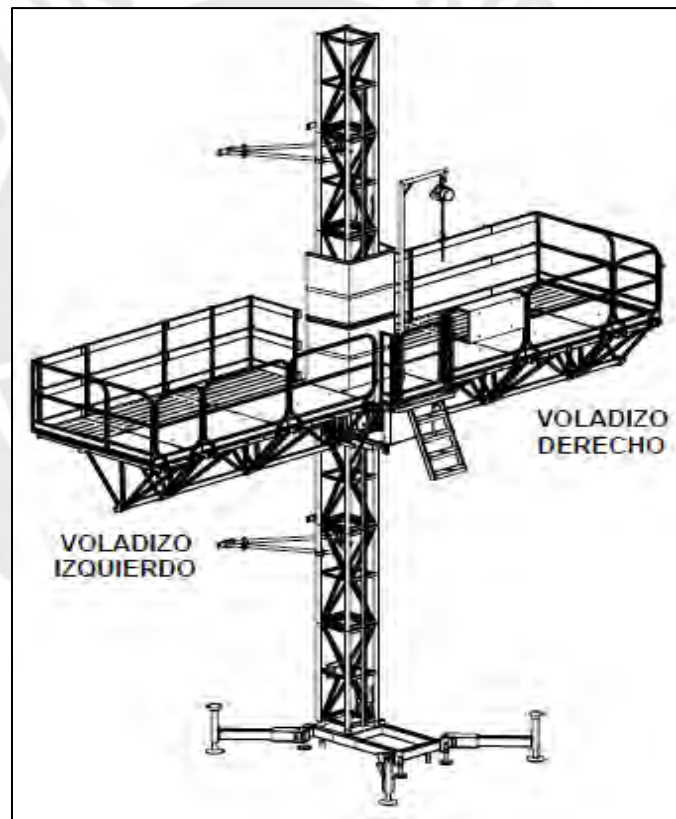


Imagen 2.21. Esquema plataforma monomástil  
Fuente: (Goian, 2005)

Tabla 2.1. Características eléctricas plataforma monomástil

Características eléctricas	
Potencia requerida	5.5kVA
Potencia absorbida	5kVA
Intensidad nominal	7.5 A
Intensidad Máx. Arranque	37.5 A

Fuente: (Goian, 2005)

### 2.2.2 Bimástiles

A diferencia de las monomástiles, poseen dos mástiles que van arriostrados a la estructura, los cuales necesitan una unidad motriz y su base respectivamente. Los motores se ubican a la altura de las columnas, mientras que el tablero de control se posiciona al medio de la plataforma. Consta de un tramo central llamado puente y de voladizos en los extremos, que en conjunto pueden llegar a formar una longitud máxima de 35.88m con una capacidad de carga de 4550kg.

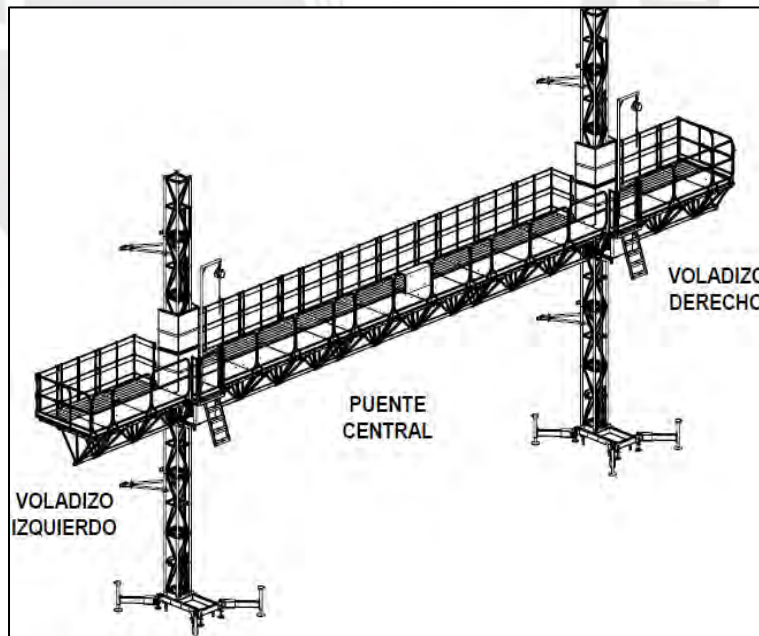


Imagen 2.22. Esquema plataforma bimástil

Fuente: (Goian, 2005)

Tabla 2.2. Características eléctricas plataforma bimástil

Características eléctricas	
Potencia requerida	10.5kVA
Potencia absorbida	10kVA
Intensidad nominal	15 A
Intensidad Máx. Arranque	75A

Fuente: (Goian, 2005)

## 2.2 Montaje y desmontaje

Para ambos tipos de equipos, andamios colgantes y plataformas elevadoras, al estar compuestos de accesorios y elementos pesados, es recomendable contar con la ayuda de la torre grúa o solicitar un camión grúa, pues facilitaría y aceleraría los procesos de descarga, montaje y desmontaje significativamente.

Para la presente descripción de procesos, se tuvo en cuenta el apoyo de una torre grúa únicamente para la descarga y movilización de las partes de los equipos hacia la posición de montaje. Es decir, el montaje y desmontaje se realizó manualmente considerando dos operarios debidamente capacitados y dos ayudantes.

### 2.2.1 Andamios colgantes

El montaje de los andamios colgantes corresponde al acoplamiento de las partes del equipo, cada una en la posición especificada, para ello se presenta la siguiente secuencia que fue registrada en campo.

- i. Descargar las partes de la estructura de soporte en la azotea de la edificación y las partes de la plataforma en el terreno de apoyo
- ii. Colocar las bases frontales y traseras respetando la separación necesaria entre ellas
- iii. Ajustar mediante pernos y tuercas las extensiones o también llamadas vigas tubulares en ambas bases
- iv. Colocar los contrapesos necesarios en la base trasera de la estructura y fijarlos, generalmente son 900kg para una plataforma de seis metros
- v. Fijar la extensión frontal al soporte T ubicado encima de la base delantera y sobre esta unión posicionar la columna superior
- vi. Sobre la base trasera fijar el tensor que sujetará el cable de refuerzo inclinado que pasará a través de la parte superior de la columna
- vii. Amarrar los cables de acero galvanizado al brazo frontal, pasarlos por el rodillo y dejarlos caer por la fachada hasta el nivel de terreno donde se ubicará la plataforma
- viii. Verificar la tensión de los cables y evitar trabas entre ellos
- ix. En el terreno del primer nivel de trabajo, comenzar con la unión de los módulos de la plataforma incluyendo las barandillas de manera alineada, hasta alcanzar la longitud deseada
- x. Colocar las ruedas en cada extremo de la plataforma (4), para facilitar su traslación
- xi. Instalar los motores en la barandilla de la plataforma y realizar la conexión con la caja eléctrica de control
- xii. Finalmente, se debe fijar y asegurar ambos pares de cables suspendidos desde la azotea en cada extremo de la plataforma

Por otro lado, el desmontaje describe el desarmado correcto y ordenado de la maquinaria. La secuencia de pasos se detalla a continuación.

- i. Con la plataforma apoyada en el terreno, retirar los cables de suspensión fijados y enrollarlos de manera ordenada
- ii. En la estructura de soporte ubicada en el último nivel del edificio, primero retirar los contrapesos del equipo de soporte
- iii. Luego, desacoplar las vigas y pescantes de forma cuidadosa, tratando de evitar cualquier riesgo de caída
- iv. En el nivel donde se encuentra la plataforma, retirar los motores y la caja eléctrica de control
- v. Finalmente, desmontar y acopiar los módulos de la plataforma

#### 2.2.2 Plataformas elevadoras

El montaje consiste en el ensamblaje de las piezas que conforman las plataformas elevadoras, tanto los módulos de plataformas como los cuerpos de mástil. La ergonomía es importante en el proceso ya que son elementos pesados. Se procede con la enumeración de pasos para dicho proceso.

- i. Una vez descargadas las componentes, se define la posición exacta para colocar la base y el grupo motor del equipo, teniendo en cuenta las dimensiones del frente de trabajo. Dicho terreno debe ser estable y estar nivelado
- ii. Empezar el armado de la plataforma de trabajo de acuerdo con el plano de modulación, con el fin de abarcar la longitud necesaria para trabajar
- iii. Asegurar las barandillas perimetrales sobre cada módulo de plataforma
- iv. Colocar las extensiones necesarias, en los voladizos y el tramo central, para poder llegar a una distancia prudente de la fachada, entre 15 y 20cm, siendo 25cm la máxima posible

- v. Nivelar y alinear la plataforma con la base
- vi. Una vez lista la plataforma con las barandas, cargar los cuerpos del mástil sobre ella
- vii. Previo al armado del mástil, es necesario realizar las conexiones eléctricas correspondientes para que la máquina funcione y la plataforma pueda ir elevándose conforme se van colocando los cuerpos
- viii. Colocar los arriostres sin superar los nueve metros máximos de separación. Para ello se debe tener en cuenta la altura de entrepiso y la arquitectura del proyecto para definir los niveles de arriostre hasta llegar a la altura deseada
- ix. Repetir los dos últimos pasos hasta alcanzar la altura deseada del mástil

El desmontaje describe el proceso secuencial de desacoplamiento de las partes que componen a las plataformas. Se debe tener en cuenta la ejecución de los resanes a raíz de las perforaciones de los arriostres.

- i. Retirar los cuerpos del mástil y arriostres desde arriba hacia abajo. Colocarlos sobre la plataforma y descender a nivel de terreno para descargarlos
- ii. Al momento del descenso del desmontaje de los cuerpos de mástil, se debe ir resanando las perforaciones generadas por el arrostramiento al edificio
- iii. Repetir los pasos anteriores hasta retirar toda la columna
- iv. Retirar las extensiones adicionales a la plataforma
- v. Retirar las barandillas de los módulos
- vi. Desmontar los módulos de la plataforma uno por uno, acopiarlos ordenadamente para su posterior traslado o devolución



## 2.3 Seguridad

El sector construcción es uno de los que presenta mayor índice de riesgo de accidentes debido a diversas razones. Entre ellas se encuentran la complejidad de sus actividades, la gran cantidad de trabajadores que participan de un proyecto, los materiales y equipos empleados, plazos de ejecución ajustados, condiciones climatológicas, entre otros.

Antiguamente en el Perú, la informalidad abundaba en el sector construcción y como una consecuencia de ello, en los proyectos no se tenía presente el criterio de seguridad ni la importancia que conlleva para prevenir accidentes. Además, no existía un responsable directo encargado de velar por la seguridad y salud de los trabajadores.

Debido a esta problemática y la gran cantidad de accidentes, en marzo de 1983 se creó la primera norma referente a la seguridad en construcción y fue nombrada “Norma Básica de Seguridad e Higiene en obras de edificación”. Fue aprobada mediante la Resolución Suprema N.º 021-03-TR y estaba dividida en tan sólo nueve capítulos repartidos en 5 páginas, lo que evidenciaba un contenido muy general. El ente encargado del cumplimiento de dicha normativa fue la Dirección de Higiene y Seguridad Ocupacional. Posteriormente, en septiembre del 2001, la entonces llamada Dirección General de Vivienda y Construcción, propuso la Norma E-120 “Seguridad durante la construcción”, la cual fue aprobada a través de la Resolución Ministerial N.º 0427-2001-MTC. Asimismo, fue incluida en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) junto con las demás normativas del sector construcción. Finalmente, en noviembre del año 2005, a través de la Resolución Ministerial N°290-2005 la Norma E-120 fue reemplazada por la Norma G050: Seguridad durante la construcción, la cual se mantiene en vigencia desde marzo del 2006 (La Madrid, 2008). En mayo del 2009, por medio del Decreto Supremo N.º 010-2009-Vivienda, la Norma Técnica G050:



Seguridad durante la construcción registró su última modificación (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2009). Actualmente, la G050 y demás normas que han sido modificadas se pueden encontrar en la última actualización del RNE. Dentro de las referencias normativas hay dos Normas Técnicas Peruanas que refieren a los andamios, NTP 400.033 “Andamios. Definiciones y clasificación, y sus modificaciones” y la NTP 400.034 “Andamios. Requisitos y sus modificaciones”; sin embargo, hay poca información de los andamios colgantes eléctricos y ninguna de las plataformas elevadoras. A diferencia de nuestro país vecino, Chile, que cuenta con un Manual de Andamios (Cámara Chilena de la Construcción, 2014), en el cual se explica de forma clara los distintos tipos de andamios y plataformas elevadoras, los riesgos de los trabajos en altura y las recomendaciones de seguridad que hay que tener en cuenta al emplear estos equipos de acceso. Al no contar en el Perú con una normativa bien desarrollada en el ámbito de andamios eléctricos colgantes y plataformas elevadoras, una buena opción es guiarnos de las instituciones mencionadas en el capítulo 1.4, como la OSHA y la HSE, así como también del Manual de Andamios de la Cámara Chilena de la Construcción puesto que es una realidad más cercana a la nuestra.

En cada proyecto de construcción, el área de Seguridad y Salud Ocupacional y Medio Ambiente (SSOMA) es la encargada de velar por la salud y seguridad de todos los involucrados, así como con el cuidado del medio que habitamos. Esta área cuenta con un jefe, quien es el principal responsable de que se cumplan las condiciones de seguridad propuesta por la Norma G050. Dependiendo del tamaño del proyecto y la cantidad de trabajadores, el jefe de SSOMA tiene a su cargo Prevencionistas de Riesgo (PDR), quienes tienen la labor de hacer recorridos constantes en campo y verificar que las actividades se realicen de forma segura. Si bien existen responsables directos, en una obra de construcción todos los involucrados son partes del

equipo de seguridad, tanto el staff de ingenieros y/o arquitectos como todo el personal obrero. Como dice el famoso lema: “Seguridad, tarea de todos”.

Existen reglas básicas de seguridad que se deben cumplir en todo proyecto de construcción. Las principales son la prohibición del ingreso a obra bajo efectos del alcohol y/o estupefacientes, la asistencia obligatoria a las charlas diarias de seguridad de 15 minutos y el uso de equipos de protección personal (EPP). Esta última regla contempla el uso de botas punta de acero, pantalón, polo manga larga, casco, barbiquejo, lentes de seguridad, guantes y tapones auditivos en caso de ser necesarios.

Dentro del rubro de la construcción, se consideran como trabajos en altura aquellos que se realizan a más de 1.80 metros del nivel de piso inferior más próximo. Los principales accidentes debido a estos trabajos son las caídas de personal, equipos y herramientas. Estos sucesos pueden generar daños tanto al personal dentro del proyecto como también a personas externas y generalmente ocurren por negligencia del trabajador. Lo primero que debe realizarse en lugares donde se ejecuten trabajos de altura es cercar la zona con cintas reflectivas y señalizar con carteles que indiquen “NO PASAR”.

Como sistema de protección anticaídas de trabajos en altura se tienen cuatro principales componentes. Primero, el uso obligatorio de arnés con doble línea de enganche y amortiguador de impacto. Segundo, la colocación de líneas de vidas verticales, que son cuerdas de nailon de 5/8” que permiten una vía de tránsito entre dos puntos y funcionan como protección contra caídas. Tercero, el uso de frenos de soga que son elementos que se sujetan a la línea de vida y sirven para trabarse a esta y evitar la caída. Por último, toda herramienta de mano deberá estar amarrada al cinturón del trabajador mediante sogas de nailon de 3/8” y de longitud suficiente para su maniobrabilidad.

Los trabajos en fachadas se clasifican evidentemente como trabajos en altura y se pueden considerar como los que presentan mayor riesgo. Esto se debe principalmente a la dificultad de acceso a estas zonas, para ello es necesario el empleo de equipos especiales como andamios colgantes o plataformas elevadoras. Dichos equipos deben tener la capacidad de transportar personal, materiales y herramientas de forma segura, permitiendo realizar los trabajos de la manera más segura posible.

Dependiendo del tipo de actividad que realicen, todos los obreros deben completar un formato llamado Análisis de Seguridad en el Trabajo (AST) antes de iniciar sus labores, el cual debe de ser revisado y firmado por el jefe de producción y jefe de SSOMA. En dicho formato se identifican los riesgos y peligros latentes al momento de realizar la labor, asimismo se proponen posibles soluciones para mitigarlos o controlarlos.

La Norma propone un formato específico para los permisos de trabajos en altura, en el cual el trabajador debe poner sus datos personales, identificar los riesgos y peligros, y también colocar las medidas de control que aplicará para tratar de minimizarlos (Ver Imagen 2.23).

<b>NOMBRE DEL PROYECTO</b>																																																								
<b>PERMISO DE TRABAJOS EN ALTURA</b>																																																								
(Aplicar a todo trabajo que se realice a partir de 1.80 metros (6 pies) de altura sobre el nivel del piso y donde existe el riesgo de caída o donde el cliente o el contratista lo requiera.)																																																								
<b>1.- Datos Principales</b>																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="3" style="padding: 5px;"><b>Lugar y tiempo</b></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 5px;">Ubicación del trabajo en altura</td> </tr> <tr> <td style="width: 60%; padding: 5px;">Motivo del la ejecución de trabajos</td> <td colspan="2" style="width: 40%; padding: 5px;">Fecha</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 5px;"><b>Supervisión Técnica</b></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Supervisor de turno:</td> <td style="padding: 5px;">Jefe de Obra:</td> <td style="padding: 5px;">Supervisor de Seg. y Salud:</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Firma:</td> <td style="padding: 5px;">Firma:</td> <td style="padding: 5px;">Firma:</td> </tr> </table>					<b>Lugar y tiempo</b>			Ubicación del trabajo en altura			Motivo del la ejecución de trabajos	Fecha		<b>Supervisión Técnica</b>			Supervisor de turno:	Jefe de Obra:	Supervisor de Seg. y Salud:	Firma:	Firma:	Firma:																																		
<b>Lugar y tiempo</b>																																																								
Ubicación del trabajo en altura																																																								
Motivo del la ejecución de trabajos	Fecha																																																							
<b>Supervisión Técnica</b>																																																								
Supervisor de turno:	Jefe de Obra:	Supervisor de Seg. y Salud:																																																						
Firma:	Firma:	Firma:																																																						
<b>2.- Nombre y Experiencia del personal autorizado para realizar Trabajos en Altura</b>																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="width: 40%;">Apellidos y Nombres</th> <th rowspan="2" style="width: 10%;">Cargo</th> <th colspan="2" style="width: 15%;">Experiencia en Trabajos en Altura</th> <th rowspan="2" style="width: 35%;">Firma</th> </tr> <tr> <th style="width: 5%;">Años</th> <th style="width: 10%;">Meses</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>					Apellidos y Nombres	Cargo	Experiencia en Trabajos en Altura		Firma	Años	Meses																																													
Apellidos y Nombres	Cargo	Experiencia en Trabajos en Altura		Firma																																																				
		Años	Meses																																																					
*Se está mayor personal en la labor, adjuntar los hojas necesarias.																																																								
<b>3.- Peligros y Riesgos de Trabajos en Altura</b>																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">Descripción</th> <th style="width: 5%;"> </th> <th style="width: 30%;">Medidas de Control</th> <th style="width: 25%;">Descripción</th> <th style="width: 5%;"> </th> <th style="width: 30%;">Medidas de Control</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Caídas de personal</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>_____</td> <td>Peligros químicos</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Caídas de equipo</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>_____</td> <td>Peligros eléctricos</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Caídas de herramientas</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>_____</td> <td>Peligros de incendio</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Otros (detalle)</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>_____</td> <td>Otros (detalle)</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table>					Descripción		Medidas de Control	Descripción		Medidas de Control	Caídas de personal	<input type="checkbox"/>	_____	Peligros químicos	<input type="checkbox"/>	_____	Caídas de equipo	<input type="checkbox"/>	_____	Peligros eléctricos	<input type="checkbox"/>	_____	Caídas de herramientas	<input type="checkbox"/>	_____	Peligros de incendio	<input type="checkbox"/>	_____	Otros (detalle)	<input type="checkbox"/>	_____	Otros (detalle)	<input type="checkbox"/>	_____																						
Descripción		Medidas de Control	Descripción		Medidas de Control																																																			
Caídas de personal	<input type="checkbox"/>	_____	Peligros químicos	<input type="checkbox"/>	_____																																																			
Caídas de equipo	<input type="checkbox"/>	_____	Peligros eléctricos	<input type="checkbox"/>	_____																																																			
Caídas de herramientas	<input type="checkbox"/>	_____	Peligros de incendio	<input type="checkbox"/>	_____																																																			
Otros (detalle)	<input type="checkbox"/>	_____	Otros (detalle)	<input type="checkbox"/>	_____																																																			

Imagen 2.23. Formato de Permiso de trabajo en altura

Fuente: Norma G050 Seguridad durante la construcción

Las empresas encargadas de arrendar las maquinarias de acceso deben poseer personal capacitado que se encargue del montaje, desmontaje y mantenimiento. Asimismo, el supervisor encargado o representante de la empresa en el proyecto, una vez culminado estos procesos, debe presentar un documento que asegure que el equipo está apto para usarlo. Dicho documento deberá ser revisado y aprobado por el área de SSOMA y el ingeniero de producción para que puedan iniciar las labores en los equipos. Asimismo, es importante que diariamente al inicio de la jornada, se realice

una lista de comprobación o más conocido como “checklist” de la maquinaria con el fin de asegurar que todas sus partes están en óptimas condiciones.

A continuación, se presentarán los criterios de seguridad relacionados al montaje, desmontaje, uso y ciertas consideraciones especiales para cada equipo.

### 2.3.1 Andamios Colgantes

Como toda actividad a realizarse en un proyecto de construcción, el procedimiento necesario para la instalación de los andamios colgantes comienza con el orden y limpieza de la zona de trabajo. Los andamios colgantes tienen como principales componentes el equipo motor, sistema eléctrico de control, plataforma suspendida, estructura de soporte, contrapesos y los cables de acero. Previo a cualquier maniobra, estos componentes necesitan una inspección para comprobar que estén en óptimas condiciones de ser utilizados.

El proceso de montaje de los andamios colgantes eléctricos se puede llevar a cabo con dos operarios debidamente capacitados y dos ayudantes. Primero, por medio de la torre grúa o camión grúa, las partes de la estructura de soporte deberán ser trasladadas hacia la azotea de la edificación y descargadas. Es importante inspeccionar el área de la azotea donde se realizará la descarga, con el fin de evitar interferencias con otras actividades o el funcionamiento de equipos. La zona de descarga y ubicación final del equipo debe de ser cercada y señalizada correctamente.

En cuanto al armado de la estructura de soporte, es importante verificar el correcto ajuste de los pernos y tuercas que fijan las bases (frontal y

posterior) con las vigas que conforman el sistema de soporte. Para ello se debe respetar las distancias entre bases y extensiones, las cuales se definen en las especificaciones técnicas de la maquinaria. Luego se deben colocar los contrapesos, los cuales generalmente son bloques de concreto de 43cmx20cmx12cm, cuyo peso volumétrico es de 2400 kg/m<sup>3</sup>. Con ello, se obtienen contrapesos de 25 kg cada uno. Se aplica la siguiente fórmula para calcular el contrapeso necesario a emplear.

$$G = \frac{F*a*n}{b}$$

Donde:

G=Contrapeso (kg)

F= Peso total de la plataforma, incluyendo operarios y herramientas (kg)

a= Longitud extensión frontal (m)

n= Factor de seguridad (4) – Estipulado en la norma G050

b= Distancia entre base frontal y posterior (m)

Una vez culminado el montaje de la estructura de soporte, se deja caer el cable de acero cuidadosamente a través de la fachada del edificio, hasta llegar al nivel donde se realizará el armado de la plataforma. Durante este proceso es importante verificar que el cable este correctamente enganchado a la estructura de soporte en la azotea y evitar trabas con algún elemento de la fachada. Asimismo, se debe contar con el certificado de calidad del cable de acero que garantice la resistencia necesaria.

El montaje de la plataforma se realiza en el nivel donde se apoyará, para ello dicha zona también debe de estar cercada y señalizada con cintas de seguridad y carteles informativos. Los operarios y/o técnicos encargados de montar los módulos de la plataforma y barandillas deben cerciorarse



de no sobrepasar la longitud máxima permitida del equipo que es de seis metros. Sin embargo, se puede aumentar la longitud mediante extensiones con la aprobación del supervisor responsable. Posteriormente, se debe fijar la estructura de soporte del motor a la barandilla y asegurar el motor a dicha estructura. Finalmente, se debe inspeccionar el sistema eléctrico, para ello deberá comprobar que el punto de alimentación suministrado por la obra sea el adecuado para el correcto funcionamiento del equipo.

Los andamios colgantes presentan un mecanismo de seguridad basado en un sistema anti-inclinación que se activa cuando el cable de acero se corta o la plataforma esta inclinada determinado ángulo. El mecanismo consiste básicamente en trabar la cuerda de acero y así evitar una mayor inclinación de la plataforma o la caída de esta. Es importante que el técnico profesional realice un mantenimiento al mecanismo de seguridad mínimo cada seis meses.

Una vez culminado ambos procesos de armado, tanto de la estructura de soporte en la azotea como la plataforma, se procede a la colocación de las líneas de vida. Generalmente en una plataforma de seis metros de longitud trabajan dos operarios, por lo que se deben de instalar como mínimo dos líneas de vida. Estas deben estar correctamente sujetadas mediante nudos firmes a los cáncamos, piezas de acero que sirven de fijación y deben estar ancladas en la losa de la azotea, o también a elementos estructurales en la azotea que aseguren una resistencia mínima de 2.265 Kg-F. Por último, el operario debe subirse al andamio colgante e iniciar la prueba de funcionamiento, subiendo y bajando el equipo comprobando que no exista ningún tipo de inconveniente.

Los andamios colgantes eléctricos no poseen una gran capacidad de carga, debido a ello, se recomienda subir en la plataforma únicamente los materiales y herramientas mínimas necesarias para el trabajo a ejecutar.

### 2.3.2 Plataformas elevadoras

El personal encargado del montaje y desmontaje debe estar debidamente capacitado, es decir, conocer el procedimiento y aplicarlo correctamente. Las primeras labores consisten en ordenar y limpiar la zona de trabajo, la cual comprende el área de descarga de los equipos y el área que abarcará la maquinaria. Luego, deben identificar que la zona de apoyo de la base sea firme y libre de desniveles, con la finalidad que la torre sea lo más estable posible. Como se mencionó anteriormente, la torre grúa se encargará de la descarga de las componentes y el personal (02 operarios y un ayudante) de recibirlas y colocarlas en su posición. Para ello, la cuadrilla ha de estar informada sobre la ergonomía adecuada para levantar y llevar carga, con el fin de evitar lesiones.

Una vez culminada la descarga, se procede a cercar el área de trabajo destinada para la colocación de la plataforma, con el fin de impedir el paso de personal ajeno a la maniobra. Para ello, se colocarán parantes de concreto y conos en todo el perímetro de la zona de trabajo, se bordeará el área delimitada con cinta amarilla de señalización y se colocarán carteles informativos acerca de las labores a realizar.

En cuanto al montaje en sí, los operarios deben respetar el plano de modulación de las plataformas entregado por el profesional responsable. Los módulos serán cargados manualmente, desde el lugar de descarga hacia la zona de instalación, para unirlos y armar la plataforma. Para evitar colocar barandas en la zona frontal de trabajo y dificultar los trabajos, la

distancia entre la plataforma y la fachada no debe ser mayor a 25 centímetros. Una vez culminado el ensamblaje de los módulos de la plataforma, junto con sus extensiones y barandillas de seguridad, el personal deberá verificar la nivelación de esta.

Previo a la instalación de los cuerpos del mástil, el personal deberá posicionarse en el último nivel de la edificación y lanzar líneas de vidas independientes para cada trabajador por la fachada hasta el nivel donde se encuentra la plataforma. Estas cuerdas o sogas deberán estar amarradas a cáncamos anclados en el último nivel, de igual manera que para los andamios colgantes. Después, el personal debe verificar las conexiones eléctricas necesarias para el funcionamiento del equipo. Para ello, los encargados deberán exigir y corroborar que el punto y la intensidad de corriente suministrada por obra sean compatibles con lo requerido por las características de la maquinaria.

Posteriormente, con la maquinaria apta para empezar el ascenso, se deben cargar ordenadamente los cuerpos de mástil sobre la plataforma y comenzar con la instalación progresiva de estos. En paralelo al levantamiento de mástil se deben de realizar los arriostres, sin superar los nueve metros máximos de separación entre ellos. Para el arrostramiento se utilizarán tubos de 1 ½" pulgadas que unirán el mástil a la estructura. Las uniones de los tubos al mástil se harán a través de bridas de entre 48 y 60 mm, mientras que la unión a la fachada del edificio será mediante placas metálicas. La sujeción de las placas metálicas a la estructura será con pernos de expansión de 5/8 de pulgada. Es recomendable que estos anclajes se ejecuten en el encuentro de elementos verticales (columnas o placas) con horizontales (losas o vigas), pues el reforzamiento estructural es mayor.

En la imagen 2.24 se muestran los principales dispositivos de seguridad de las plataformas elevadoras, la mayoría de estos funcionan de manera automática cuando la situación lo requiera.

DISPOSITIVOS PRINCIPALES DE SEGURIDAD	OPCIONAL
Dos motorreductores con frenos electro-mecánicos por Grupo motor	
Dos frenos centrífugos de emergencia por Grupo motor	
Descenso manual de emergencia con inclinación máxima limitada	
Sistema de nivelación horizontal automática	
Parada de emergencia	
Sistema de validación de maniobra	
Control de fases	
Puerta de acceso con enclavamiento eléctrico	
Señal acústica de movimiento	
Finales de carrera para límites de recorrido superior e inferior y extra-recorrido	
Detector de presencia de cremallera	
Maniobra eléctrica de baja tensión	
Protección de mástil	
Carcasa de protección grupos motrices	
Último tramo de mástil con media cremallera	✓
Pisos plataforma principal y extensiones antideslizantes y con doble sujeción	
Sistema de nivelación de base (husillos y/o gatos)	
Tope mecánico superior con amortiguador (sustituye a tramo mástil con media cremallera)	
Red antiproyecciones	✓
Anemómetro	✓
Caja diferencial y magneto-térmico	✓
Extensión unidad motriz	✓
Escalera de acceso	
Dispositivo detector de sobrecarga	✓
Tope mecánico flotante inferior	✓
...	

Imagen 2.24. Dispositivos de seguridad

Fuente: (Goian, 2005)

### 3 ESTUDIO DE CASO: PROYECTO CIUDAD NUEVA

#### 3.1 Descripción de proyecto

Ciudad Nueva es un proyecto de vivienda masiva ubicado en la Av. Santa Callao que cuenta con un área total de terreno de 31,325.25 m<sup>2</sup> y en la cual se distribuirán 28 edificios de departamentos de 5, 8 y 15 pisos, con departamentos de 2 y 3 dormitorios. Además, cuenta con áreas comunes como losa deportiva, zona de parrilla, minimarket, jardín de niños, zona de parrillas, entre otros. El proyecto le pertenece al Grupo Inmobiliario Paz Centenario y la construcción se ha realizado por etapas, por lo que han sido varias las empresas constructoras encargadas de la ejecución.

Dos de estas etapas fueron similares y consistían en la construcción de tres torres idénticas de quince pisos cada una, las cuales en conjunto abarcaban todo el frente que da a la Av. Santa Callao. Los trabajos de acabados en fachadas de la primera de estas etapas se realizaron utilizando el método convencional de andamios colgantes, mientras que en la segunda se emplearon las plataformas elevadoras.

En base al presupuesto, las fachadas sólo debían ser solaqueadas y pintadas; sin embargo, debido a la gran exigencia por parte de la supervisión en cuanto al alineamiento y las escuadras en las aristas, se debió de realizar un tarrajeo para uniformizar y posteriormente la pintura.

En la imagen 3.1 se puede observar el plano en planta del proyecto Ciudad Nueva. En la leyenda se especifica las etapas que ya están construidas, las que faltan construir y las dos etapas que serán parte de este trabajo de investigación.



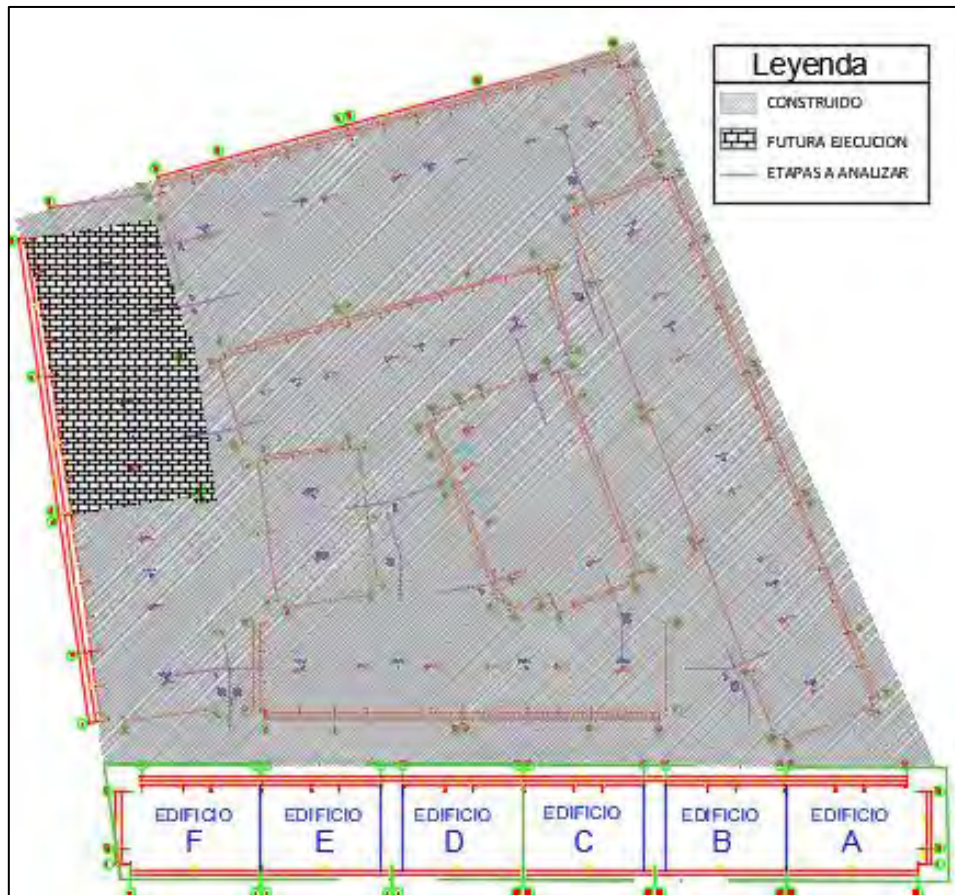


Imagen 3.1. Plano de planta proyecto Ciudad Nueva

Fuente: Plano Plantas E-06 – Paz Centenario

El área construida se ha realizado en varias etapas y por distintas constructoras, ya que para cada etapa se organizaba un nuevo concurso de licitación. Los edificios A, B, C, D, E y F son los últimos que han sido construidos y conforman las dos etapas a analizar en la presente tesis. En los tres primeros (A, B y C) se emplearon los andamios colgantes eléctricos para el trabajo de acabados en fachadas. Los tres edificios restantes (D, E y F) culminaron de construirse a mediados de noviembre del 2017, en ellos se utilizaron las plataformas elevadoras.





Imagen 3.2. Vista panorámica Proyecto Ciudad Nueva

Fuente: Paz Centenario



Imagen 3.3. Vista frontal ambas etapas

Fuente: Propia

### 3.2 Detalles de fachadas

Para fines prácticos del análisis comparativo, para cada método se estudiará la torre intermedia de cada etapa (B y E), por ello a continuación se mostrará los detalles de los tres frentes de fachada que poseía dicha torre. La altura total de las torres es de 40 metros; sin embargo, los tres frentes de la fachada eran distintos entre sí, por lo que presentan diferente metrado y dificultad de trabajo. A continuación, se detallará cada frente de fachada a analizar.

- Frente Av. Canta Callao: Es el frente principal pues da a una de las avenidas más transitadas de la provincia del Callao. El trabajo sobre este frente comenzaba en la terraza del segundo nivel, pues el primer nivel estaba destinado para locales comerciales. Posee 27.30 metros de largo.

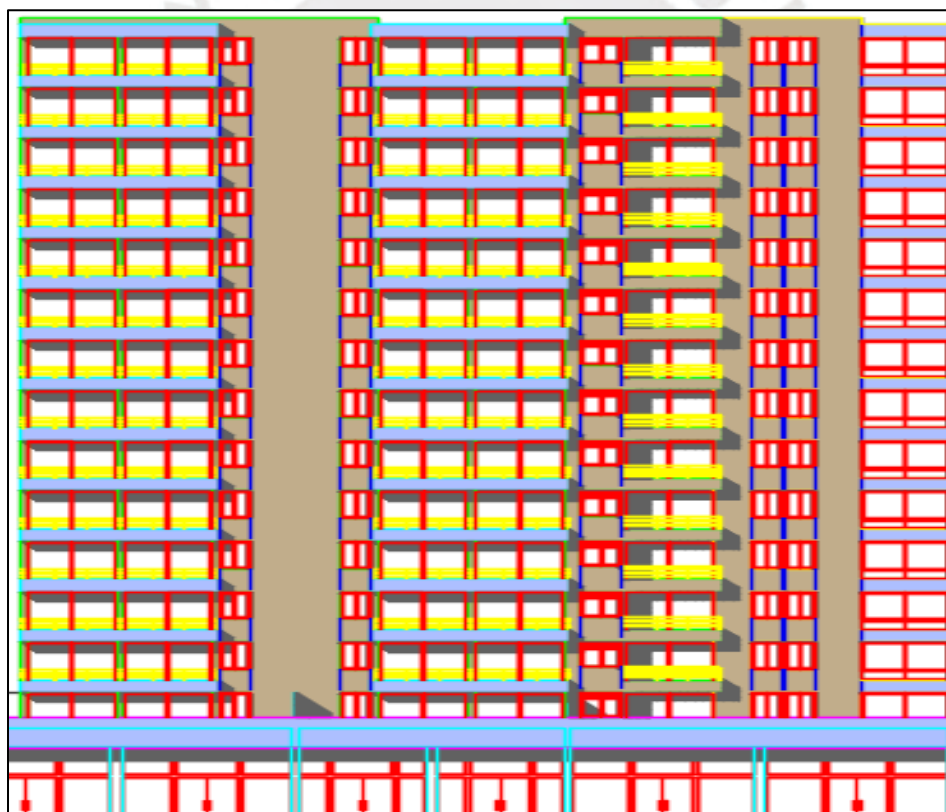


Imagen 3.4. Frente principal Av. Canta Callao

Fuente: Plano Detalle de fachadas (D-22, D-23) – Paz Centenario

- Frente condominio: Es la fachada posterior, por lo que tiene la misma longitud que la principal. Sin embargo, se diferencia de esta porque posee una franja central sin vanos de 7.4 metros lineales, ya que en esa zona se encuentra la caja de escalera de evacuación.

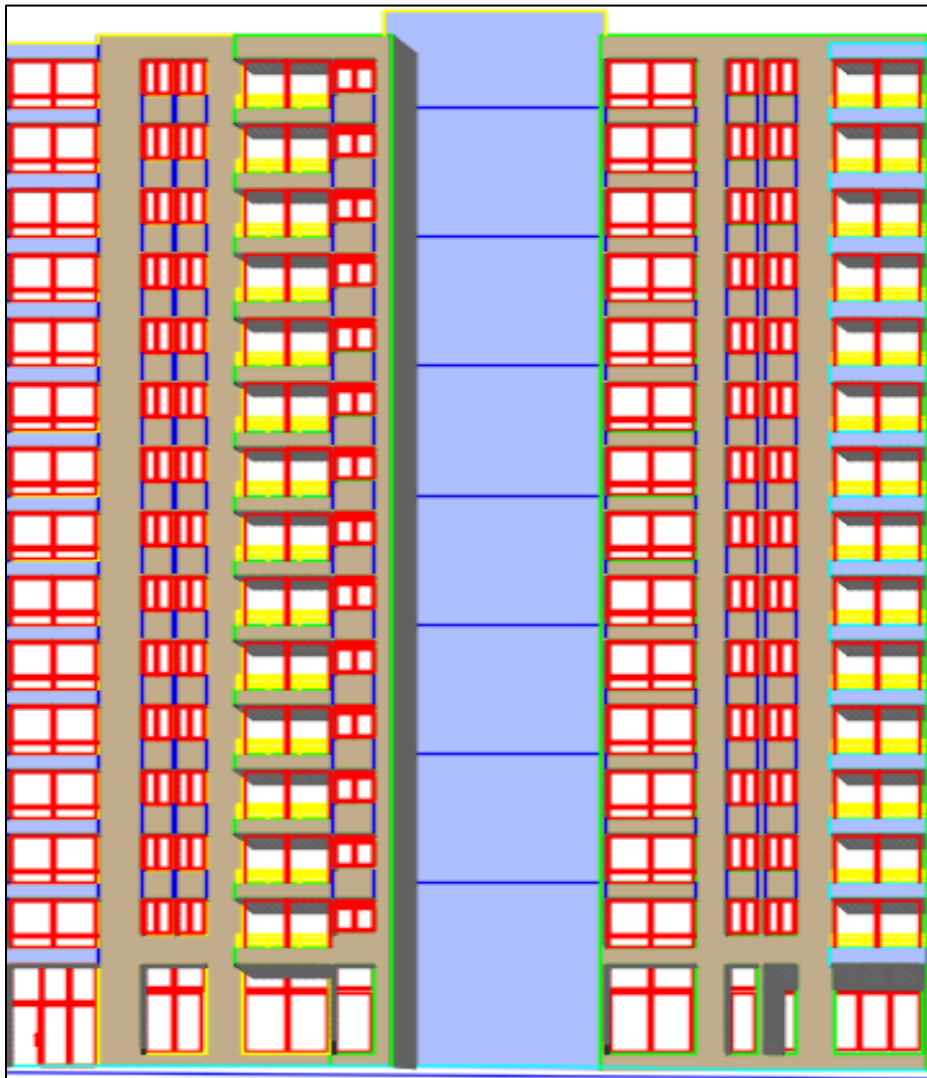


Imagen 3.5. Frente Condominio

Fuente: Plano Detalle de fachadas (D-22, D-23) – Paz Centenario

- Frente muro ciego: Es el frente lateral de la torre, con una longitud de 13 metros, pero que cuenta con una peculiaridad a lo largo de toda su altura, posee una entrada en forma de “U” de 2.00 metros de profundidad y 1.40 de ancho.

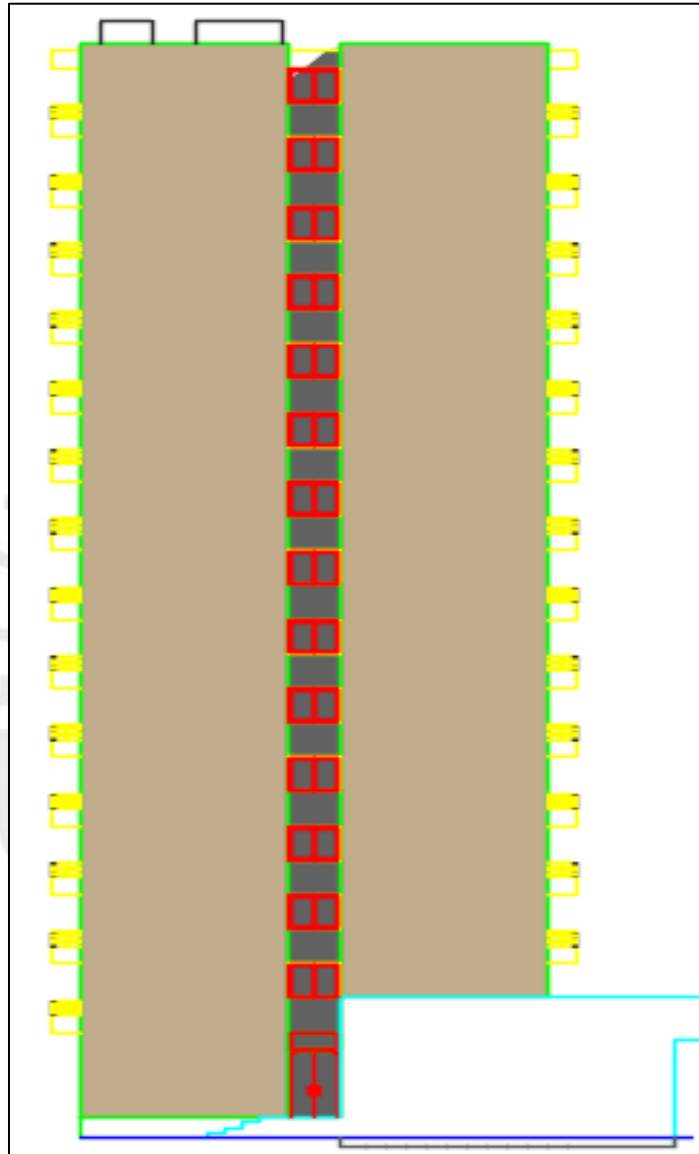


Imagen 3.6. Frente Muro ciego

Fuente: Plano Detalle de fachadas (D-22, D-23) – Paz Centenario

## 4 ANÁLISIS COMPARATIVO

El comparativo entre los andamios colgantes y las plataformas elevadoras tendrá como base dos análisis, el técnico y el económico. El primero consistirá en evaluar los parámetros relacionados al rendimiento, características técnicas propias del equipo, dispositivos o mecanismos de seguridad, entre otros. Cada parámetro será evaluado de forma independiente y en base a las mediciones realizadas en el proyecto de vivienda masiva Ciudad Nueva.

Por otro lado, el análisis económico estará enfocado al tema de costos de alquiler por equipo, evaluando la cantidad de equipos necesarios para poder cumplir con el cronograma planificado. Para ello se evaluarán las cotizaciones de Ancelsa SAC para los andamios colgantes y de Maquinza Perú S.A.C, distribuidora de Elevadores Goian para las plataformas elevadoras.

### 4.1 Análisis técnico

Dentro del análisis técnico y los parámetros a comparar, es muy importante diferenciar todas las actividades necesarias para la realización de un trabajo determinado. De acuerdo con el concepto base de la Filosofía Lean Construction, el cual busca maximizar el valor del producto y reducir las pérdidas durante el proceso, dichas actividades se pueden clasificar en tres categorías: Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributorio (TC) y Trabajo No Contributorio (TNC).

De acuerdo con Serpell (Serpell,1993), el trabajo productivo es aquel que aporta de manera directa a la producción y se ve reflejado en el avance de obra. En base a los trabajos de acabados en fachadas estudiados en la

presente tesis, se consideran TP al tarrajeo, lijado, blanqueado, empastado, pintura.

Por otro lado, define que los trabajos contributorios son actividades necesarias para poder realizar los trabajos productivos; sin embargo, éstas no aportan directamente a la producción y por ende no generan avance. A modo de ejemplo, los TC serían el transporte de materiales y equipos por medio de los aparatos elevadores, preparación de mezclas, mediciones de verticalidad y plomada, indicaciones a cargo del grupo de mando, mantenimiento de los equipos, entre otros.

Finalmente, precisa que los trabajos no contributorios son aquellos que no aportan a la producción, son innecesarios y generan un costo, por lo que se consideran netamente como pérdida. Dentro de esta categoría están los trabajos rehechos por mala ejecución, tiempos de espera, viajes sin acarreo de materiales.

Asimismo, luego de constantes estudios, Serpell estimó que el porcentaje de valores óptimos para la industria de la construcción de las categorías de trabajo previamente descritas son los siguientes:

- Trabajo Productivo (TP): 60%
- Trabajo Contributorio (TC): 25%
- Trabajo No Contributorio (TNC): 15%

Fue en el año 1999 cuando se realizó el primer estudio de productividad en obras de construcción en Lima, el cual estuvo al mando del Ing. Virgilio Ghio. El estudio consistió en analizar 50 obras de edificación en Lima y cuantificar el porcentaje de TP, TC y TNC. Tal como se muestra en su libro “Productividad en obras de construcción” (Ghio, 2001), los resultados fueron los siguientes:



- Trabajo Productivo (TP): 28%
- Trabajo Contributorio (TC): 36%
- Trabajo No Contributorio (TNC): 36%

Dichos resultados fueron obtenidos a través de mediciones de Nivel General de Actividades (NGA), que consiste en clasificar los TP, TC y TNC de forma aleatoria de todas las cuadrillas presentes en obra, las cuales estaban ejecutando diversas partidas.

Por otro lado, las mediciones con Cartas Balance (CB) permiten clasificar los trabajos de una cuadrilla de una actividad específica y así poder optimizar los procesos de manera que sea una actividad más eficiente y con menos pérdidas. Para tener un panorama más claro, un estudio reciente de investigación realizado en el año 2019 empleando las CB, consistió en evaluar la productividad del tarrajeo exterior de una edificación de altura mediante andamios colgantes y se obtuvieron los siguientes resultados (Macedo, Y. & Quijada, J.;2019):

- Trabajo Productivo (TP): 41.2%
- Trabajo Contributorio (TC): 32.6%
- Trabajo No Contributorio (TNC): 26.2%

A pesar de haber analizado esta única partida, es un resultado lejano de la productividad óptima propuesta por Serpell. La misión constante del sector construcción debe consistir en analizar y brindar propuestas de mejora que aumenten la productividad en las obras y minimizar las pérdidas, sin dejar de lado la calidad y seguridad.

En cuanto al análisis técnico de la presente tesis, el primer parámetro a profundizar será el rendimiento, cociente de los recursos empleados y la

cantidad producida, en el tarrajeo y la pintura de cada fachada respectivamente. Cabe mencionar que únicamente los resultados del rendimiento de tarrajeo serán empleados para el análisis comparativo debido a que se considera que en esta actividad es más apreciable la diferencia entre ambos equipos que en la pintura. Se debe clasificar el rendimiento para cada una de las fachadas definidas debido a que poseen diferente metrado y distintas características. Es decir, no es lo mismo trabajar en la una superficie plana sin vanos ni aristas, que en una fachada que presenta una gran cantidad de ventanas y balcones que forman ángulos rectos entre las superficies. El rendimiento de tarrajeo englobará también la ejecución de las bruñas, derrames de vanos, perfilado de aristas y escuadras de los tres tipos de fachadas.

Las etapas del proyecto Ciudad Nueva que serán evaluadas consistían en la construcción de tres torres idénticas con quince niveles cada una. Para el presente comparativo, se analizarán únicamente los datos recopilados en la construcción de la torre intermedia de cada etapa. Ello se determinó debido a que la torre intermedia arrojaría los valores de rendimiento más representativos. Por un lado, si se estudiase la primera torre se obtendrían rendimientos bajos ya que es más como una prueba en la que no se tiene ningún tipo de experiencia o conocimientos previos. De lo contrario, si se analizara la tercera etapa se obtendrían mejores resultados debido a la curva de aprendizaje que experimentaría el personal. Cabe mencionar que para los cálculos se tendrán en cuenta jornadas laborales de 8 horas por día.

Para fines prácticos del estudio y poder obtener resultados más certeros, el tiempo será un valor fijo tanto para los andamios colgantes como para las plataformas elevadoras. Es decir, se cuantificará el rendimiento teniendo como meta realizar el tarrajeo de cada fachada en un determinado número de días, que cumpla con el cronograma.

La fachada principal, que da a la Av. Santa Callao, será la primera a evaluar. El área bruta de la fachada en toda su altura es de 1062 m<sup>2</sup>; sin embargo, presenta un área total de vanos de 479 m<sup>2</sup>, con lo que se obtiene un área efectiva de trabajo de 583m<sup>2</sup>.

Al ser las plataformas elevadoras bimástiles equipos que abarcaban toda la longitud de la fachada, era necesario colocarlas ligeramente inclinadas para poder trabajar en los balcones (Ver imagen 4.1). Con el fin de destinar operarios fijos en cada sector, se optó por dividir la fachada en tres sectores de 12.8m<sup>2</sup>, 12.8m<sup>2</sup> y 16m<sup>2</sup> por nivel respectivamente (Ver imagen 4.2).

Se designaron 08 operarios y un ayudante a medio tiempo, puesto que abastecía a la cuadrilla en horas específicas, lo que le permitía apoyar en otras actividades.

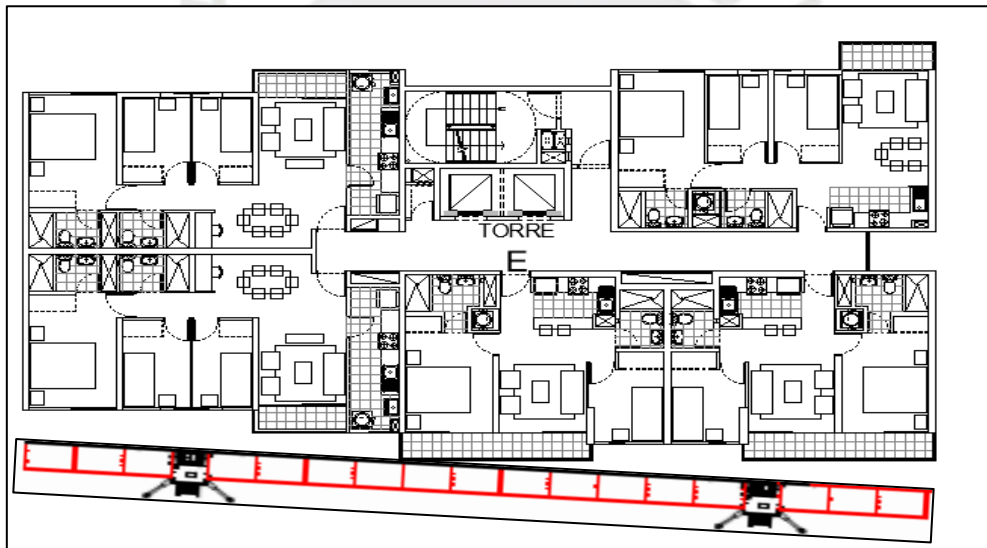


Imagen 4.1. Esquema posición bimástil fachada Av. Santa Callao  
Fuente: Propia



Imagen 4.2. Sectorización fachada Santa Callao  
Fuente: Propia

Por otro lado, en el caso de los andamios colgantes, no era necesario sectorizar las fachadas puesto que dependía de la ubicación de los equipos (Ver imagen 4.3). Como la longitud de la fachada era 27.30 metros, se utilizaron tres andamios de 06 metros y dos de 04 metros. Para ello, se calculó trabajar con 09 operarios y un ayudante a medio tiempo.

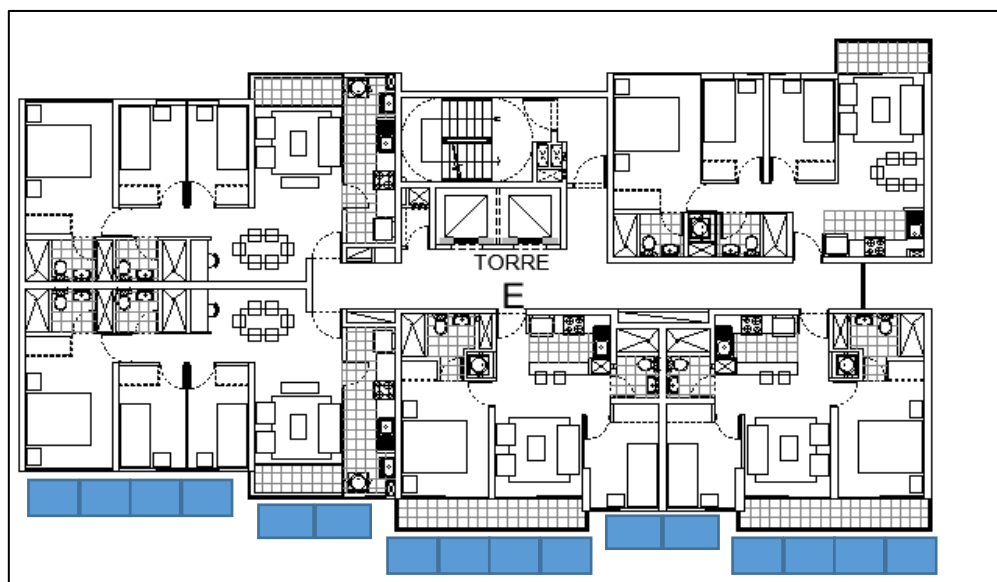


Imagen 4.3. Esquema posición andamios fachada Av. Santa Callao  
Fuente: Propia

Se tenía planificado realizar el tarrajeo de la fachada Santa Callao en 09 días y con un rendimiento meta de 0.86 hh/m<sup>2</sup>; sin embargo, la cantidad de obreros que se necesitaban en cada equipo era diferente y con ello variaban las horas hombre empleadas. A continuación, se muestra los resultados y el puntaje asignado a cada equipo, empleando la escala Likert descrita en capítulos anteriores.

Tabla 4.1 Rendimiento Tarrajeo fachada Santa Callao

Rendimiento Tarrajeo frente Santa Callao						
Equipo	Metrado (m <sup>2</sup> )	Días	Total horas hombre (hh)	Rendimiento (hh/m <sup>2</sup> )	Rendimiento meta (hh/m <sup>2</sup> )	Puntuación
Andamio Colgante	583	9	684	1.17	0.86	3.7
Plataforma Elevadora Bimástil	583	9	612	1.05		4.1

Fuente: Propia

La siguiente fachada a analizar es la que da hacia el condominio, esta posee un área de 778.5m<sup>2</sup> de tarrajeo. Si bien tiene la misma longitud que la fachada principal Canta Callao, la diferencia radica en la zona central pues ahí se ubica la caja de escalera de evacuación, área que no presenta vanos.

La bimástil empleada tuvo las mismas características que la de la fachada frontal, tal que abarque los 27.30 metros de longitud, también se debió montarla inclinada (Ver imagen 4.4). Se dividió en tres sectores de 14.8, 20.6 y 16.5 m<sup>2</sup> por piso respectivamente (Ver imagen 4.5). El sector central era el área libre de vanos, para el cual se destinaron dos operarios fijos a laborar en dicha zona.

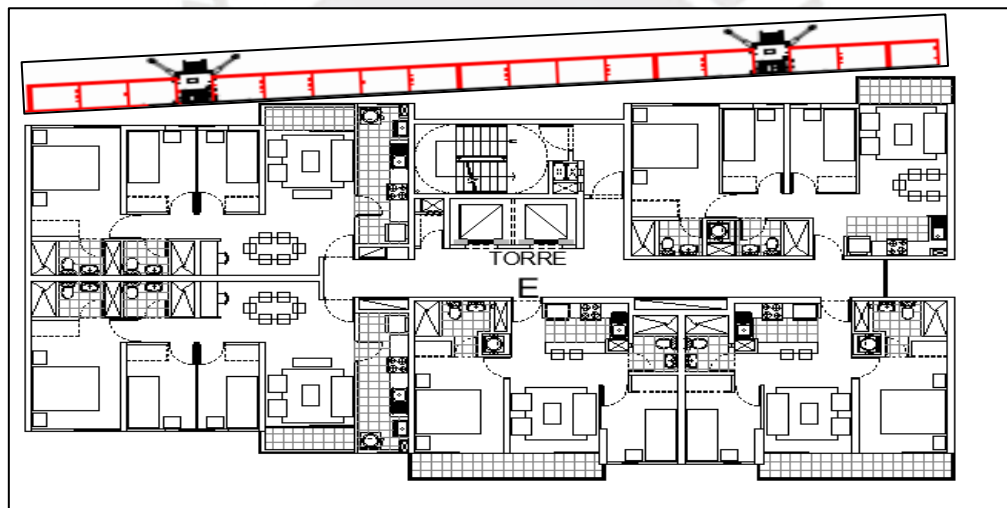


Imagen 4.4. Esquema posición bimástil fachada Condominio  
Fuente: Propia





Imagen 4.5. Sectorización fachada Condominio  
Fuente: Propia

Para el caso de los andamios colgantes, si bien es cierto que era la misma longitud de la fachada Santa Callao, la distribución de los equipos debió variar y se emplearon tres andamios de 06 metros, uno de 04 metros y uno de 3.50 metros. Uno de 6 metros cubriría el área de la caja de escalera. (Ver imagen 4.6)

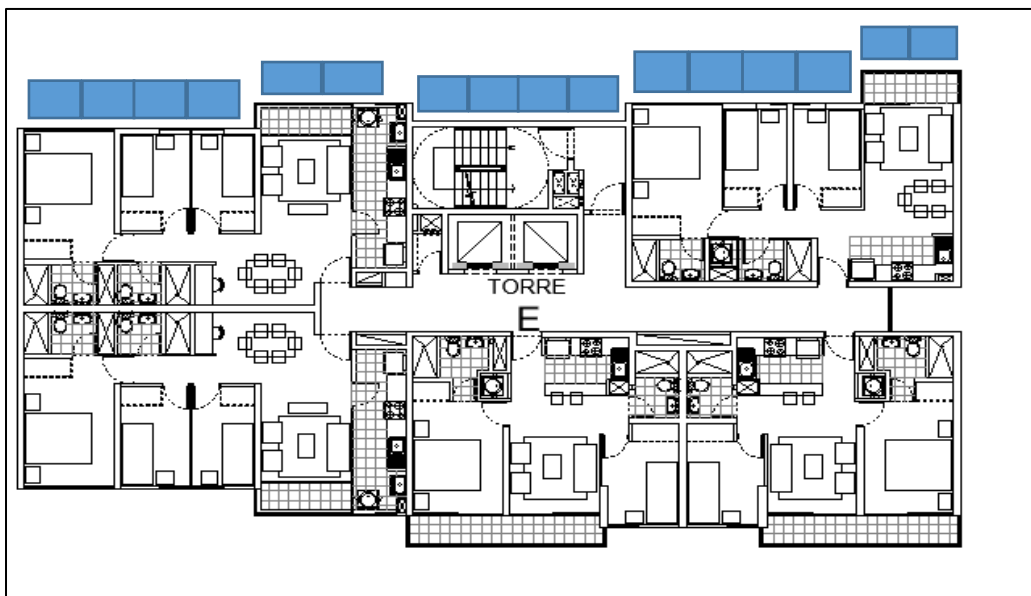


Imagen 4.6. Esquema posición andamios fachada Condominio  
Fuente: Propia

Se contempló realizar el tarrajeo en 11 días, con un rendimiento meta de 0.81 hh/m<sup>2</sup>; mejor que el de la fachada principal porque es más sencillo trabajar sobre un área que no presenta vanos. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.2 Rendimiento Tarrajeo fachada Condominio

Equipo	Rendimiento Tarrajeo frente condominio					
	Metrado (m <sup>2</sup> )	Días	Total horas hombre (hh)	Rendimiento (hh/m <sup>2</sup> )	Rendimiento meta (hh/m <sup>2</sup> )	Puntuación
Andamio Colgante	778.5	11	836	1.07	0.81	3.8
Plataforma Elevadora Bimástil	778.5	11	748	0.96		4.2

Fuente: Propia

La fachada lateral de la torre, denominada muro ciego, se diferencia de las desarrolladas anteriormente debido a que no posee ningún vano en toda su altura en sus paños más significantes. Sin embargo, en la zona central presenta una entrada de dos metros de profundidad desde la superficie de la fachada y 1.5 metros de ancho, con una ventana de 1.40x1.40m. El metrado total es de 630 m<sup>2</sup>, teniendo en cuenta los paños laterales y la entrada en mención.

En el caso de las plataformas elevadoras, se pudo montar una bimástil que abarcará toda la longitud del frente. Sin embargo, se optó por emplear una monomástil para cada paño lateral. Una de ellas de 6.50 y la otra de 8 metros (Ver imagen 4.7), pues a esta última en uno de sus extremos se le añadieron extensiones para poder trabajar en la entrada, la cual fue considerada como uno de los sectores a trabajar (Ver imagen 4.8). Se destinaron en total cinco operarios, dos para la plataforma de seis metros y tres para la plataforma de ocho metros. En esta última, solo se destinará un operario a laborar en la entrada debido a que las extensiones presentan poca capacidad de carga.

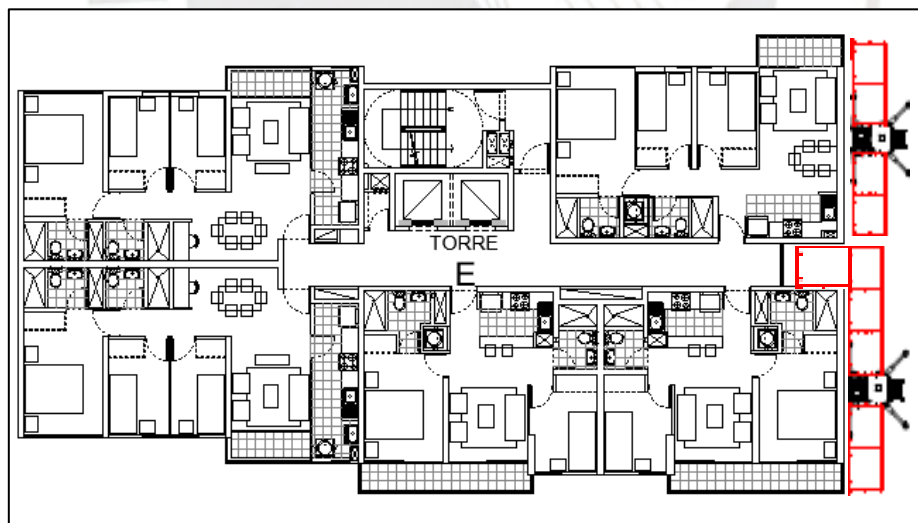


Imagen 4.7. Esquema posición monomástil fachada muro ciego  
Fuente: Propia

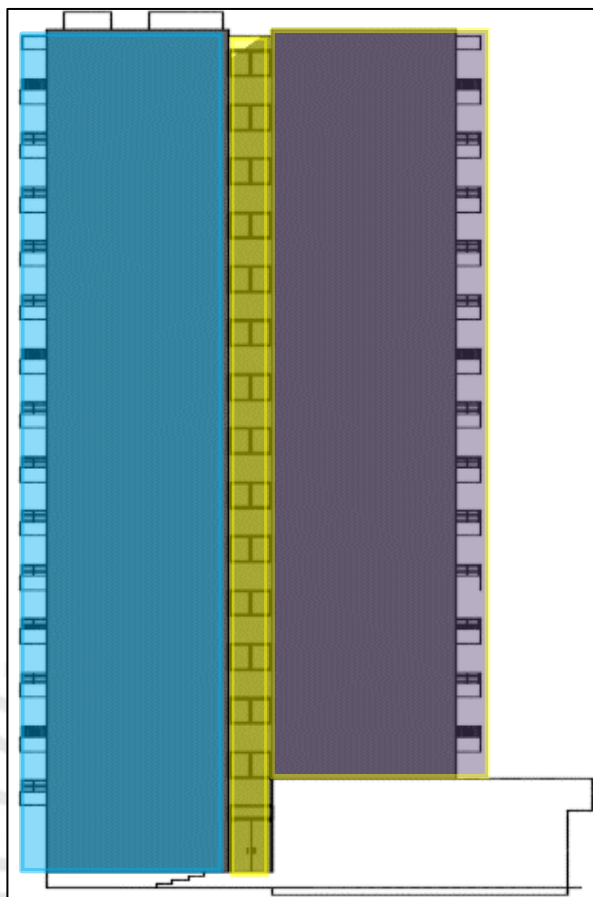


Imagen 4.8. Sectorización fachada muro ciego  
Fuente: Propia

Fueron necesarios dos andamios de 06 metros y uno de 02 metros de longitud perpendicular a la fachada para poder trabajar en dicha entrada. En total se destinaron cinco operarios, dos en cada andamio de seis metros y uno para el de dos metros; además de un ayudante medio tiempo que los abastezca de mezcla para el tarrajeo.

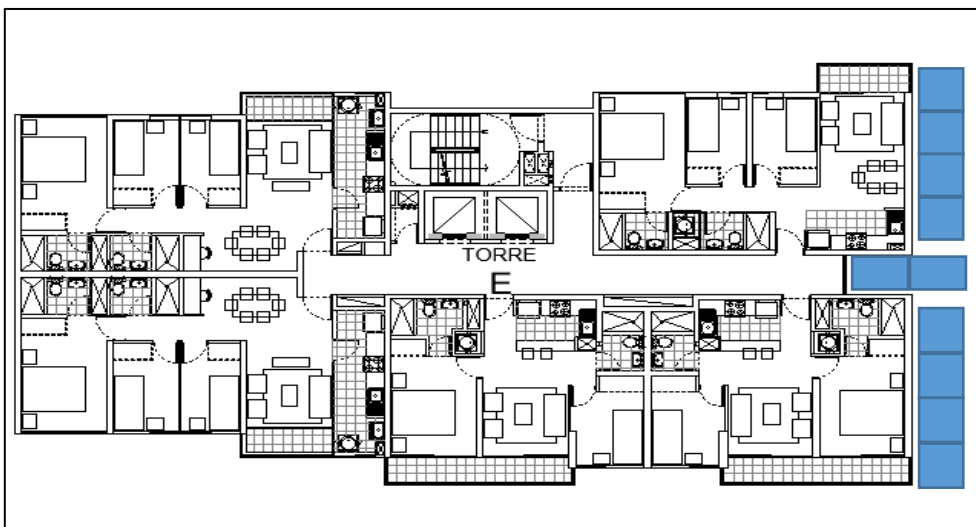


Imagen 4.9. Esquema posición andamios fachada muro ciego

Fuente: Propia

En esta fachada, los rendimientos obtenidos con ambos equipos fueron iguales ya que se necesitaron la misma cantidad de operarios. El rendimiento meta fue de 0.45 hh/m<sup>2</sup> ya que era un área totalmente libre de vanos, y el trabajo se hace más sencillo. Sólo se requería trabajar cuatro aristas, dos a los extremos y dos en la entrada central.

Tabla 4.3 Rendimiento Tarrajeo fachada Condominio

Rendimiento Tarrajeo frente muro ciego						
Equipo	Metrado (m <sup>2</sup> )	Días	Total horas hombre (hh)	Rendimiento (hh/m <sup>2</sup> )	Rendimiento meta (hh/m <sup>2</sup> )	Puntuación
Andamio Colgante	630	7	308	0.49	0.45	4.6
Plataforma Elevadora Monomástil	630	7	308	0.49		4.6

Fuente: Propia

Como se mencionó anteriormente, los resultados de pintura exterior no formarán parte directa del comparativo pues el rendimiento obtenido mediante el tarrajeo ilustra de mejor manera la diferencia entre los andamios colgantes y las plataformas elevadoras. De acuerdo con la pintura de fachada, se presentará una tabla comparando rendimientos teniendo en cuenta el metrado total de la torre intermedia y con el objetivo de culminar hasta la segunda mano de pintura en siete días. Cabe recalcar que deben pasar aproximadamente quince días después del tarrajeo para lograr el porcentaje de humedad óptimo e iniciar las actividades de pintura, las cuales se explicarán enseguida.

El primer proceso es el lijado, consiste en retirar la arenilla de la superficie producto del tarrajeo; por lo que necesariamente debe realizarse cuando se encuentre seca. Luego, se procede con lo que se conoce como blanqueado que consiste en aplicar imprimante sobre la estructura. Para cubrir la mayor cantidad de imperfecciones se realiza el empaste, en caso de ser necesario se debe repetir el proceso dos veces, empaste grueso y empaste fino. Previo a la primera mano de pintura, es importante realizar un último lijado de toda la superficie con el fin de emparejarla. Si luego de la primera mano de pintura se siguen apreciando imperfecciones, estas deben ser cubiertas con mediante una mezcla de temple con yeso conocida como masilla. Una vez cubiertos todos los desperfectos y realizada la primera mano en toda la fachada, se procede con la segunda mano de pintura y acabado final.

Para el análisis de rendimiento de pintura se ha considerado la misma cantidad de operarios que para el tarrajeo puesto que la modulación de los equipos de acceso se acomoda a dicha distribución de personal. Se consideró realizar el pintado completo de una torre en cinco días, puesto que fuera de la primera y segunda mano de pintura, las demás actividades son sencillas y rápidas y en su mayoría se hace de manera puntual.



Tabla 4.4 Rendimiento de pintura torre intermedia

Equipo	Rendimiento Pintura Torre intermedia					
	Metrado (m <sup>2</sup> )	Días	Total horas hombre (hh)	Rendimiento (hh/m <sup>2</sup> )	Rendimiento meta	Puntuación
Andamio Colgante	1991.5	5	980	0.49	0.4	4.1
Plataforma Elevadora	1991.5	5	820	0.41		4.9

Fuente: Propia

El siguiente parámetro técnico para comparar será el tiempo de montaje y desmontaje. Para ello cabe recordar que en ambos casos se tuvo el apoyo de la torre grúa únicamente para la descarga de las componentes de los equipos en el lugar de instalación. En ambos casos, el procedimiento de montaje y desmontaje descrito en el cuarto capítulo fue realizado manualmente por dos operarios debidamente capacitados y ayudantes. Las etapas del proyecto Ciudad Nueva en estudio presentan espacio suficiente en el nivel de apoyo de los equipos. Esto es una gran ventaja, ya que permite que el montaje y desmontaje de los equipos se realice con mayor facilidad. Para el caso de los andamios colgantes, el proceso se desarrolla en dos niveles diferentes. Primero la estructura de soporte se ensambla en la azotea del edificio, luego la plataforma en la planta inferior de trabajo.

Para fines prácticos del análisis, sumaremos los tiempos (en días) de armado y desarmado de los equipos. Para el cálculo de tiempo de los andamios, se tuvo en cuenta el tiempo de armado de los cinco andamios necesarios para abarcar la misma longitud que la plataforma elevadora bimástil. Estos valores los compararemos con un tiempo óptimo estimado en 2 días, uno de montaje y otro de desmontaje.

Tabla 4.5 Tiempo de montaje y desmontaje

Equipo	Tiempo Montaje y Desmontaje				
	Montaje	Desmontaje	Total días	Tiempo óptimo	Puntuación
Andamio Colgante	2	1.5	3.5	2	2.9
Plataforma Elevadora Bimástil	1.5	1	2.5		4

Fuente: Propia

Las características técnicas propias de los equipos también son parámetros muy significativos para el análisis. La capacidad de carga está ligada al rendimiento puesto que, a mayor capacidad de carga, el equipo puede soportar más personal, mayor cantidad de materiales y herramientas, lo que reduce el tiempo de espera o transporte.

En el caso de los andamios colgantes eléctricos, la longitud de la plataforma es proporcional a la capacidad de carga. Para una plataforma de seis metros, la capacidad de carga máxima es de 630kg. Lo más recomendable es que en una plataforma de esa longitud sólo trabajen dos operarios para que no se interrumpan, además de cada uno contar con materiales y herramientas propias.

Las plataformas elevadoras presentan una capacidad de carga inversamente proporcional a su longitud, debido a que los mástiles van arriostrados a la estructura y mientras los voladizos de la plataforma estén más cerca de estos podrán cargar un mayor peso. Para fines prácticos del comparativo, tendremos en cuenta el valor de carga de una plataforma de seis metros al igual que los andamios, por lo que necesariamente tiene que tratarse de una monomástil, cuya capacidad de carga sería de 1950kg. Este último valor, ha sido considerado como la capacidad de carga óptima, por lo que las plataformas elevadoras obtendrán el puntaje máximo.

Tabla 4.6 Capacidad de carga

Equipo	Capacidad de Carga		
	Máxima Capacidad de Carga (kg)	Carga óptima	Puntuación
Andamio Colgante	630	1950	1.6
Plataforma Elevadora Monomástil	1950		5

Fuente: Propia

Otro parámetro acorde con las características técnicas de los equipos es la velocidad de ascenso y descenso. A mayor altura del edificio, mayor es la importancia que asume este parámetro. Esto se debe principalmente a que el tiempo de viaje es considerado trabajo no contributorio, es decir, no aporta directa ni indirectamente a la producción en sí. Estos períodos de viaje o espera son considerados como pérdidas.

Los valores de las velocidades son un promedio entre las brindadas en las especificaciones técnicas de los equipos y las medidas en campo. Se ha considerado una velocidad óptima de 12 m/min, con lo que se recorrería toda la altura (40 metros) de las torres del proyecto Ciudad Nueva en tres minutos y medio aproximadamente.

Tabla 4.7 Velocidad de ascenso y descenso

Equipo	Velocidad ascenso y descenso (m/min)		
	Velocidad promedio (m/min)	Velocidad óptima (m/min)	Puntuación
Andamio Colgante	10	12	4.2
Plataforma Elevadora	7		2.9

Fuente: Propia

A diferencia de los parámetros desarrollados anteriormente, la estabilidad y facilidad de operación de los equipos requieren un análisis más cualitativo que cuantitativo. Para ello, es muy importante la percepción del trabajo de los equipos en campo y la opinión de los operarios que laboran sobre ellos. Asimismo, la seguridad cumple un rol fundamental en ambos criterios.

Respecto a la estabilidad de los equipos, las plataformas elevadoras a simple vista son mucho más estables que los andamios colgantes debido a que los mástiles van arriostrados al edificio cada nueve metros. Los andamios colgantes eléctricos están sujetos mediante dos cables en cada extremo de la plataforma, ello hace que sean más vulnerables a los vientos y al movimiento propio del trabajo.

De acuerdo con el testimonio de algunos albañiles que formaban parte de la cuadrilla de tarrajeo de fachada, todos concuerdan en que las plataformas elevadoras son más estables que los andamios colgantes. Asimismo, afirman que brindan una mayor sensación de seguridad y esto hace que se pueda trabajar con mayor facilidad.

En base a lo observado en campo y el testimonio de los obreros, se muestra la tabla 4.8 con la puntuación asignada a cada equipo.

Tabla 4.8 Estabilidad

Equipo	Estabilidad
	Puntuación
Andamio Colgante	1.5
Plataforma Elevadora	5

Fuente: Propia

Con relación a la facilidad de operación, para ambos equipos es muy sencilla y similar. Basta con una charla instructiva para que queden claros los pasos a seguir

para el correcto funcionamiento del equipo. Siempre es bueno designar un encargado de la cuadrilla para operar el equipo. Entre sus funciones están el verificar que todas las personas sobre la plataforma estén con su respectiva línea de vida y freno de soga, y cerciorarse que las puertas de acceso y barandillas estén bien aseguradas. Luego de ello, simplemente tiene que accionar el botón de la caja eléctrica de control, ya sea el de ascenso o descenso.

Tanto las plataformas elevadoras como los andamios colgantes son equipos que funcionan eléctricamente y son accionados mediante botones, lo que hace una manipulación muy fácil de aprender y aplicar, por lo que ambos equipos han sido calificados con el puntaje mayor (Ver tabla 4.9)

Tabla 4.9 Facilidad de operación

Equipo	Facilidad de operación
	Puntuación
Andamio Colgante	5
Plataforma Elevadora	5

Fuente: Propia

A continuación, se mostrará una tabla resumen de los parámetros técnicos comparados, tanto los cuantitativos y cualitativos, con la puntuación asignada.

Tabla 4.10 Resumen de puntuaciones asignadas

	Puntuación	
	Andamio Colgante	Plataforma Elevadora
Rendimiento Tarrajeo Frente Canta Callao	3.7	4.1
Rendimiento Tarrajeo Frente Condominio	3.8	4.2
Rendimiento Frente Muro ciego	4.6	4.6
Tiempo Montaje y Desmontaje	2.9	4
Capacidad de Carga	1.6	5
Velocidad ascenso y descenso (m/min)	4.2	2.9
Estabilidad	1.5	5
Facilidad de operación	5	5
Total	27.3	34.8

Fuente: Propia

#### 4.2 Análisis económico

Para fines prácticos del análisis comparativo económico se tendrán en cuenta el alquiler de equipos necesarios para el trabajo de acabados en fachadas de una torre y abarcar los tres frentes en paralelo. Para este tipo de equipos de acceso usualmente las cotizaciones son por mes; sin embargo, para obtener el análisis económico se tendrá en cuenta la cantidad exacta de días que demorará el tarrajeo de cada frente. Asimismo, se tendrá en cuenta la cantidad de horas hombres consumidas y el consumo de energía para cada equipo.

Los precios unitarios de alquiler son referenciales y depende de la obra a ejecutarse y el acuerdo comercial entre la empresa proveedora de los equipos y la constructora. Para la presente investigación se trabajarán con precios promedio por día exclusivos para las condiciones de obra del proyecto Ciudad Nueva.



Para los frentes Canta Callao y Condominio se necesitaron en total 10 andamios colgantes, seis de 06 metros, tres de 04 metros y uno de 3 metros. A su vez, la cantidad de días establecida para realizar el tarrajeo es de 9 y 11, respectivamente. Para el frente muro ciego fueron dos de 06 metros y uno de 02 metros para la entrada que posee este frontis, por un total de 7 días.

El precio promedio por día calendario para un andamio colgante de 06 metros de plataforma es de S/. 102.00. Para los andamios de 4 y 3 metros, el precio por día se concilió en S/. 90.00; mientras que para el de 2 metros el precio fue de S/ 85.00. Dichos precios unitarios incluyen el alquiler del equipo, transporte ida y vuelta hacia la obra, 02 técnicos para el montaje y desmontaje, y un cambio de posición por semana en caso sea necesario. Asimismo, el empleo de andamios colgantes para el tarrajeo de los frentes de una torre del proyecto Ciudad Nueva implica el trabajo de 24 operarios laborando sobre las plataformas más un ayudante (medio tiempo) en cada frente para abastecerlos de material, limpiar la zona en el nivel de apoyo de la plataforma y ayuda ante cualquier imprevisto. No se consideran ayudantes a tiempo completo pues cuando ya cumplieron con sus tareas en lo que respecta al abastecimiento a los andamios colgantes, pueden realizar otras actividades.

Tabla 4.11 Alquiler andamios colgantes

Alquiler Andamios Colgantes Eléctricos					
Frente	Longitud equipos	Cantidad de equipos	Cantidad de días	PU por día (S/.)	Parcial (S/.)
Canta Callao	6 metros	3	9	102.00	2754.00
	4 metros	2		96.00	1728.00
Condominio	6 metros	3	11	102.00	3366.00
	4 metros	1		96.00	1056.00
	3 metros	1		96.00	1056.00
Muro ciego	6 metros	2	7	102.00	1428.00
	2 metros	1		85.00	595.00
				Total	S/. 11,983.00

Fuente: Propia

Para el cálculo de las horas hombres consumidas, se ha tenido como referencia los precios de jornales básicos de un operario y ayudante o peón establecidos en el Acta Final de Negociación Colectiva en Construcción Civil 2017-2018 entre CAPECO Y la Federación de Trabajadores de Construcción Civil del Perú (FTCCP).

Tabla 4.12 Horas hombres consumidas en andamios colgantes

Horas hombre consumidas					
Frente	Cantidad Operarios	Cantidad Horas hombre	Costo Operarios	Costo ayudante	Precio total
Canta Callao	6	432	S/7,776.00	S/58.50	S/11,722.50
	3	216	S/3,888.00		
Condominio	6	528	S/9,504.00	S/71.50	S/14,327.50
	2	176	S/3,168.00		
	1	88	S/1,584.00		
Muro ciego	4	224	S/4,032.00	S/45.50	S/5,085.50
	1	56	S/1,008.00		
Totales	23.00	1720.00	S/30,960.00	S/175.50	S/31,135.50

Fuente: Propia

En cuanto al consumo energético, los andamios colgantes requieren un punto de energía trifásico de 220 voltios y 20 amperios con conexión a tierra, el cual debe ser suministrado por la obra. La potencia promedio requerida por equipo es de 1.5 Kilowatts, se estima un factor de uso de 0.3 y se considera un costo de S/ 0.60 por hora.

Tabla 4.13 Consumo de energía en andamios colgantes

Consumo de energía Andamios Colgantes							
Frente	Cantidad de equipos	Potencia (kw)	Factor de uso	Cantidad de días	Kw por hora	Costo kw por hora	Precio total
Canta Callao	5	1.5	0.3	9.00	162	0.6	97.20
Condominio	5			11.00	198		118.80
Muro ciego	3			7.00	75.6		45.36
						Total	S/261.36

Fuente: Propia

El costo de transporte, alquiler, montaje, desmontaje, horas hombres consumidas en producción y el consumo de energía para los andamios colgantes eléctricos suman un total de S/. 43,379.86.

Del mismo modo, se hará el análisis para ambos tipos de plataformas elevadoras. El total de equipos necesarios para cubrir los tres frentes de una torre son cuatro, dos de ellos serán plataformas bimástiles con 27.5 metros de longitud para las fachadas que dan hacia la Av. Canta Callao y el condominio. Las otras dos se emplearán en el muro ciego y serán monomástiles de 6.50 y 8 metros de longitud. Cabe recordar que a esta última se le añadirán extensiones de forma perpendicular a la fachada para poder trabajar en la entrada en forma de "U". Los precios unitarios por día de las plataformas elevadoras se calcularon mediante una proporción al valor mensual e incluyen transporte ida y vuelta, montaje y desmontaje con 02 técnicos, y mantenimiento en caso sea necesario. Asimismo, cabe recalcar que las cotizaciones se presentaron en dólares, por lo que se empleó un tipo de cambio igual a 3.40.

La cantidad de días a usar las plataformas elevadoras en cada frente es la misma que la requerida por los andamios; sin embargo, la cantidad de operarios si varía. Se estimó que eran necesarios ocho operarios en los frentes Canta Callao y condominio, y en el muro ciego bastaba con cinco; lo que hacía un total de 21 operarios en las plataformas. Además, de 01 ayudante medio tiempo por fachada.

Tabla 4.14 Alquiler plataformas elevadoras

Alquiler Plataformas elevadoras					
Frente	Tipo de equipo	Cantidad de equipos	Cantidad de días	PU por día (S/.)	Parcial (S/.)
Canta Callao	Bimástil 27.5 metros	1	9	530.00	S/4,770.00
Condominio	Bimástil 27.5 metros	1	11	530.00	S/5,830.00
Muro ciego	Monomástil 6.5 metros	1	7	330.00	S/2,310.00
	Monomástil 8 metros	1		330.00	S/2,310.00
				Total	S/15,220.00

Fuente: Propia

A continuación, se mostrará la tabla con las horas hombres consumidas con los mismos criterios empleados con el análisis de los andamios colgantes.

Tabla 4.15 Horas hombres consumidas en plataformas elevadoras

Horas hombre consumidas					
Frente	Cantidad Operarios	Cantidad Horas hombre	Costo Operarios	Costo ayudante	Precio total
Canta Callao	8	576	S/10,368.00	S/58.50	S/10,426.50
Condominio	8	704	S/12,672.00	S/71.50	S/12,743.50
Muro ciego	2	112	S/2,016.00	S/45.50	S/2,061.50
	3	168	S/3,024.00		S/3,024.00
Totales	19.00	1400.00	S/28,080.00	S/175.50	S/28,255.50

Fuente: Propia

En cuanto al consumo de energía, para ambos tipos de mástiles se considerará un factor de uso 0.3. El motor de las monomástiles requiere 3kw de potencia, mientras que las bimástiles 6kw.

Tabla 4.16 Consumo de energía en plataformas elevadoras

Consumo de energía Plataformas elevadoras								
Frente	Tipo de equipo	Cantidad de equipos	Potencia (kw)	Factor de uso	Cantidad de días	Kw por hora	Costo kw por hora	Precio total
Canta Callao	Bimástil 27.5 metros	1	6	0.3	9.00	129.6	0.6	77.76
Condominio	Bimástil 27.5 metros	1	6		11.00	158.4		95.04
Muro ciego	Monomástil 6.5 metros	1	3		7.00	50.4		30.24
	Monomástil 8 metros	1	3			50.4		30.24
							Total	S/233.28

Fuente: Propia

En total, las plataformas elevadoras tienen un costo total de S/ 43,708.78 que engloba el costo de transporte, alquiler, montaje, desmontaje y mantenimiento de dos bimástiles de 27.5 metros y dos monomástiles de 6.5 y 8 metros cada una.

A continuación, se muestra la tabla con el resumen del comparativo económico de ambos equipos de acceso. Se muestra el resultado parcial de alquiler, horas hombre consumidas y consumo de energía

Tabla 4.17 Resumen comparativo económico

Equipo	Alquiler	Horas hombres consumidas	Consumo de energía	Total
Andamios colgantes	S/11,983.00	S/31,135.50	S/261.36	S/43,379.86
Plataformas elevadoras	S/15,220.00	S/28,255.50	S/233.28	S/43,708.78

Fuente: Propia

## 5. CONCLUSIONES Y LECCIONES APRENDIDAS

En base a los resultados del análisis técnico y económico se puede confirmar la hipótesis y afirmar que las plataformas elevadoras son equipos más eficientes para los trabajos de acabados en fachadas que los andamios colgantes. Además, si bien el alquiler por precio unitario de las plataformas elevadoras es mayor que de los andamios colgantes, la clave está en la cantidad de equipos necesarios para poder abarcar las tres fachadas de una torre, puesto que necesitas 13 andamios y sólo 04 plataformas, 02 bimástiles y 02 monomástiles.

En cuanto al puntaje total del análisis técnico, las plataformas obtuvieron 34.8 puntos contra los 27.3 de los andamios colgantes, siendo 40 el puntaje máximo teniendo en cuenta los ocho parámetros comparados. Si se transforma a porcentajes, se podría concluir que las plataformas elevadoras son 18.75% más eficientes para el trabajo de acabados en fachadas que los andamios colgantes.

Las dos etapas idénticas analizadas del proyecto Ciudad Nueva fueron un claro ejemplo para poder llegar a esta conclusión. Las dimensiones de los tres frentes de las torres calzaban perfectamente con las longitudes típicas de las plataformas monomástiles y bimástiles, y el hecho de abarcar toda la fachada permitía una mejor distribución de operarios. Al estar arriostradas a la estructura, la estabilidad del



equipo era muy buena y facilitaba los trabajos; a diferencia de los andamios colgantes cuyo mecanismo de suspensión mediante cables de acero permitía el constante movimiento de la plataforma. Asimismo, debido a las longitudes de los andamios, se tuvieron que distribuir de tal manera que se pueda trabajar en las partes planas como en los balcones, lo que implicaba una mayor cantidad de equipos y una distinta cantidad de operarios para cumplir con los días estimados en el cronograma.

La estabilidad y la longitud de plataformas para la distribución del personal son las principales razones que el rendimiento obtenido con las plataformas elevadoras sea mejor que con los andamios colgantes. La estabilidad, como se mencionó previamente, se comprobó en base a lo observado en campo y al testimonio de los operarios. Este mejor rendimiento quiere decir que con menos recursos (horas hombre) se ejecuta la misma cantidad de trabajo ( $m^2$ ). El parámetro de rendimiento se ha clasificado como el más importante e influyente dentro del análisis técnico, ya que está totalmente ligado a la eficiencia del trabajo. Como se mencionó durante el desarrollo de la presente tesis, es importante realizar un control de producción y registrar los datos diariamente. Para obtener resultados más certeros por equipo, es importante colocar operarios cuyo rendimiento sea similar, para avanzar en conjunto y evitar así personal en espera. Se optó por utilizar los datos obtenidos de la torre intermedia de cada etapa para obtener resultados más reales, pues definitivamente en la primera torre el rendimiento iba a ser más bajo debido a que el personal desconoce la zona de trabajo y el funcionamiento del equipo de acceso. Por otro lado, si se hubiera trabajado con los datos de la tercera torre, los números serían mejores debido a la curva de aprendizaje que experimenta el personal en cuanto al trabajo a realizar en sí y al empleo de la maquinaria.

En cuanto al tiempo de montaje y desmontaje, el hecho de contar con una torre o camión grúa para la descarga de las componentes de los equipos es muy útil, ya que ahorra gran cantidad de tiempo y recursos de acarreo. El procedimiento de armado y desarmado tanto de los andamios colgantes como las plataformas

elevadoras se realizaron por dos técnicos capacitados y ayudantes. Si bien es cierto que el montaje de las plataformas elevadoras es más lento pues sus partes son más pesadas y además consta de pasos más complejos, con una bimástil basta para abarcar toda la longitud de la fachada principal y posterior (27.30 metros); por otro lado, a pesar de ser un procedimiento más sencillo, era necesario montar 05 andamios colgantes para cubrir la misma longitud por lo que demandaba más tiempo.

En el proyecto Ciudad Nueva, fue muy favorable para ambos tipos de maquinarias el hecho de contar con el espacio necesario en el nivel de apoyo para su montaje y desmontaje.

Los parámetros relacionados a las características técnicas de los equipos también forman parte importante del análisis. Por ejemplo, luego de la estabilidad, la capacidad de carga fue el parámetro en el que se presentó mayor diferencia de puntaje, ya que la plataforma elevadora monomástil de 6 metros puede llegar a cargar 1950 kg y la bimástil de 30 metros hasta 4050 kg, mientras que el andamio colgante estudiado de seis metros sólo puede cargar 630 kg. Ello influye en la cantidad de personas, herramientas y material que pueden subir a la plataforma. Asimismo, cuando el personal de las actividades en fachada se encuentra en horario de refrigerio o ya finalizó su jornada, las plataformas elevadoras pueden ser empleadas para el acarreo vertical de materiales y equipamiento relativamente pesado. Para ello, han de estar bien distribuidos a lo largo de toda la plataforma, y siempre teniendo presente el peso máximo de carga. Por otro lado, los andamios colgantes al no poseer gran capacidad de carga, la cantidad de material que se puede acarrear para los trabajos es reducida.

Los parámetros técnicos restantes, velocidad de ascenso/descenso y la facilidad de operación, fueron resultados parejos en ambas maquinarias. Respecto al primero, se esperaba obtener una velocidad óptima de 12 m/min; sin embargo, debido a la carga y por motivos de seguridad los equipos no sobrepasaban los 10 m/min. Ello

quiere decir que demoraban entre cuatro y cinco minutos en recorrer toda la altura del edificio. Definitivamente, estos minutos forman parte del trabajo no productivo, los operarios no pueden aprovechar en realizar alguna actividad pues deben manipular su freno de sogas durante todo el ascenso o descenso. En base a las mediciones en campo, el tiempo aproximado consumido en viajes de los equipos oscila entre 25 y 30 minutos por día.

Respecto a la facilidad de operación, tanto los andamios colgantes eléctricos como las plataformas elevadoras, son equipos muy sencillos de usar. Basta con una pequeña charla de inducción a cargo del responsable de las maquinarias en obra para poder accionarlas correctamente. Hay circunstancias que los equipos dejan de funcionar por diversos motivos, algunas veces pueden ser solucionados a través de instrucciones del técnico responsable vía telefónica y otras veces es necesario que acuda el técnico para la revisión y mantenimiento respectivo. Es recomendable tener un técnico responsable del equipo perenne cuando se requieran continuos cambios de posición de los andamios colgantes; de lo contrario, sería un gasto que se podría obviar.

En resumen, del aspecto técnico, las plataformas elevadoras obtuvieron una ventaja respecto a los andamios colgantes básicamente en la estabilidad y la gran longitud de fachada que pueden abarcar los equipos. Además, la capacidad de carga significó también una gran diferencia, pues en sus tiempos libres pueden emplearse para el transporte hacia pisos superiores de materiales y/o elementos frágiles difíciles de acarrear como ventanas, mamparas, cerámico, entre otros.

Por otro lado, en el análisis económico llegamos a la conclusión que los andamios colgantes presentan un precio unitario por alquiler bastante menor que las plataformas elevadoras; sin embargo, los 13 andamios necesarios para trabajar una torre equipararon los costos de alquiler. Las condiciones de arriendo fueron muy similares, incluían principalmente el transporte ida y vuelta de los equipos y dos técnicos capacitados para el montaje y desmontaje. En ambos casos, la obra debía

suministrar las líneas de vida, los frenos de soga y la energía para el funcionamiento de los equipos.

El consumo energético de los equipos no es incidente comparado con el precio de alquiler, de igual manera cabe recalcar que a pesar de que individualmente las plataformas requerían una mayor potencia, la cantidad de andamios empleados volvió a compensar los resultados, por lo que el monto total por consumo de energía es muy similar para ambos tipos.

Adicionalmente, para el estudio económico se tuvo en cuenta las horas hombre empleadas para poder realizar los trabajos en los tres frentes en un determinado número de días para cada uno, acorde al cronograma. Las horas hombres incluían a los operarios que trabajaban sobre los equipos y a los ayudantes que los abastecían.

Resumiendo, en el aspecto económico, podemos determinar que para el tarrajeo de una fachada del proyecto Ciudad Nueva, las plataformas elevadoras son solamente 0.76% más costosas que los andamios colgantes, una diferencia prácticamente nula.

Como se mencionó en el desarrollo de la presente tesis, uno de los objetivos consistía en determinar el equipo que presente un mejor balance costo-beneficio. Para ello, el estudio de caso influye notablemente en el análisis, y en el caso del proyecto Ciudad Nueva el balance favorece claramente a las plataformas elevadoras.

Sin embargo, como en todo comparativo, existen ventajas y desventajas para cada equipo. Las cuales están principalmente relacionadas con la zona de trabajo, tipo y calidad de la obra. Por ejemplo, cuando una edificación colinda con propiedades que no poseen un techo firme capaz de soportar a un equipo pesado o simplemente el vecino no lo permite, no se pueden emplear las plataformas elevadoras pues necesariamente requieren un nivel de apoyo.

En ese caso, se podrían utilizar los andamios colgantes eléctricos, ya que empleando un método de montaje distinto pueden armarse las plataformas desde la azotea sin necesitar una superficie de apoyo. Otra desventaja de las plataformas elevadoras es que en caso uno de los operarios requiera ir a los servicios higiénicos o tenga una urgencia, la plataforma debe descender hasta el nivel de apoyo junto con los demás operarios, generando bastantes horas hombre perdidas. Por otro lado, si ocurre una situación similar en los andamios colgantes también se deberá descender, pero sólo serán dos operarios los que deban realizar el viaje, mientras que el resto sigue trabajando en los demás equipos.

Otra ventaja de los andamios es que no requieren de arriostres a la estructura, por lo que realizan los acabados completos de la fachada y no hay remates pendientes por los anclajes, como ocurre con las plataformas elevadoras.

Finalmente, en proyectos que posean fachadas de gran longitud y además cuenten con retiros en sus frentes, es recomendable el uso de las plataformas elevadoras para los trabajos de acabados en fachada, ya sea solaqueo, tarrajeo y/o pintura; puesto que tienen la capacidad de abarcar toda la longitud, buena estabilidad, gran capacidad de carga y el mayor costo por arriendo se justifica con lo mencionado anteriormente. Es labor de todos los profesionales dentro del rubro de la construcción buscar la optimización de procesos, innovación en el empleo de equipos, herramientas y materiales, todo ello con el fin de agregarle valor a los proyectos y cumpliendo con los estándares de calidad y seguridad.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ancelsa SAC. (2014). *Manual de operación Andamio Colgante Eléctrico*. Lima: Ancelsa SAC.

Ancelsa SAC. (2015). *Procedimiento estándar para el montaje de andamios colgantes eléctricos shenxi*. Lima: Ancelsa SAC.

Bajaj, D., & Kumar, A. (1999). Cost comparison of scaffolding systems for high rise construction . AACE International Transactions.

Bishop, P. (2010). Benefits of mast climbing work platforms. Gran Bretaña: Utility Week.

Buleje, K. (2012). *Productividad en la construcción de un condominio aplicando conceptos de la filosofía Lean Construction*. (Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú).

Cámara Chilena de la Construcción [CCHC] (2014). *Manual de Andamios*. Santiago de Chile: Cámara Chilena de la Construcción

Cámara Peruana de la Construcción [CAPECO] (2019). *Informe Económico de la Construcción*. Lima: Cámara Peruana de la Construcción.

Chávez, M. (2010). *Análisis de la etapa de albañilería y acabados en una edificación de vivienda*. (Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú).

Compañía de Estudios de Mercado y Opinión Pública [CPI]. (2019). *Market report*. Lima: Compañía de Estudios de Mercado y Opinión Pública

Decreto Supremo N° 010-2009-Vivienda. *Modificación de 08 normas técnicas del RNE*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009).

Decreto Supremo N° 012-2019-Vivienda. *Decreto supremo que aprueba la modificación del reglamento especial de habilitación urbana y edificación, aprobado por Decreto supremo N° 010-2019-Vivienda*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019).

Elevadores Goian . (2005). *Manual de instrucciones - Plataforma elevadora de trabajo sobre mástil, monomástil y bimástil*. Guipúzkoa: Elevadores Goian



- Elevadores Goian (2014). *Plataforma elevadora sobre mástil GP40*. Agurain: Elevadores Goian
- Federación de Trabajadoras en Construcción Civil del Perú [FCCTP] (2017). *Tabla salarial y beneficios sociales 2017-2018*. Lima: Federación de Trabajadores en Construcción Civil del Perú
- Gestión. (2017). *Déficit habitacional en Lima Metropolitana*. Obtenido de <http://https://gestion.pe/economia/deficit-habitacional-lima-metropolitana-612-464-viviendas-2016-127350-noticia/>
- Ghio, V. (2001). *Productividad en obras de construcción*. Lima: Fondo Editorial PUCP
- Health and Safety Executive [HSE] (2013). Health and Safety Executive. Obtenido de <http://www.hse.gov.uk/>
- Hernández, R.; Fernández, C.; & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. 5ta ed. México: McGraw-Hill.
- Inmobiliaria Edifica. (2017). *Ciudades verticales, el futuro de la arquitectura*. Obtenido de: <http://edifica.com.pe/ciudades-verticales-el-futuro-de-la-arquitectura/>
- International Powered Access Federation [IPAF] (2014). International Powered Access Federation. Obtenido de <http://www.ipaf.com/>
- Khudeira, S. (2009). *Scaffolding on high rise buildings*. Chicago: Practice Periodical on Structural Design & Construction.
- La Madrid, C. (2008). *Propuesta de un plan de seguridad y salud para obras de construcción*. (Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú).
- Macedo, Y. & Quijada, J. (2019). *Tarrajeo exterior según el avance estructural para incrementar la productividad en una edificación de altura, distrito de San Miguel año 2019*. (Tesis de licenciatura, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú).
- Matos, A. (2017). *Plan de gestión de Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente en el trabajo*. Lima: Maquinza Perú S.A.C

- Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2020). *Boletín estadístico mensual de notificaciones de accidentes de trabajo, incidentes peligrosos y enfermedades ocupacionales*. Lima: Oficina de Estadística.
- Montecinos, Y. (2008). *Análisis de aplicación, montaje y costo de andamios para edificación en altura comparando metodologías tradicionales con el sistema de plataforma elevadora por cremallera*. (Tesis de licenciatura, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile).
- National Access & Scaffolding Confederation [NASC] (2018). National Access & Scaffolding Confederation. Obtenido de [http:// https://nasc.org.uk/](http://https://nasc.org.uk/)
- Occupational Safety and Health Administration (2016). *All about OSHA*. EE.UU: United States Department of Labor.
- O'shea, K. (2013). Mast climbing work platforms: An industry on the move. Masonry.
- Paz Centenario (2014). Ciudad Nueva, condominio Canta callao. Obtenido de: <http://www.pazcentenario.com.pe/departamentos-en-venta/callao-ciudad-nueva>
- Pimentel, A. (2016). *Problemática en la etapa de acabados de edificios multifamiliares y recomendaciones para mejorar la confiabilidad de la programación*. (Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú).
- Reid, C. (2011). *Scaffolding*. Amsterdam: European Rental Association [ERA] Convention Growth Again
- Serpell, A. (1993). *Administración de operaciones de construcción*. 1era ed. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile
- Scaffold & Access Industry Association [SAIA]. (2016). Obtenido de <http://www.saiaonline.org/>
- Zamorano, C. (2015). *Guía para la implementación de un sistema de planificación y control en la etapa de acabados y equipamiento de edificaciones*. (Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú).

## ANEXO A: PROCESO PLATAFORMAS ELEVADORAS

### 1. Llegada y descarga de equipos con camión grúa



Fuente: Propia

### 2. Colocación de base y grupo motor sobre terreno firme y nivelado e inicio de armado de plataforma con barandillas



Fuente: Propia

### 3. Carga de cuerpos de mástiles sobre plataforma e inicio de armado de mástil, arriostrandolo al edificio las bimástiles cada 2 niveles y las monomástiles cada 3 niveles, puesto que lo máximo permitido es 9 metros





Fuente: Propia

4. Distribución de trabajadores en frente muro ciego, incluyendo la extensión en forma de U. Se aprecia que cada operario cuenta con su propia línea de vida y el encapsulado con malla raschell de la plataforma



Fuente: Propia

5. Mediciones de verticalidad y plomada por parte del equipo de supervisión de obra, teniendo en cuenta las tolerancias establecidas en los anexos contractuales





Fuente: Propia

6. Secuencia de trabajos principales en frente condominio: Tarrajeo, blanqueado y pintado







Fuente: Propia

## 7. Frontis del proyecto Ciudad Nueva culminado



Fuente: Propia

## ANEXO B: PROCESO ANDAMIOS COLGANTES ELÉCTRICOS

1. Descarga de materiales, es importante contar con el apoyo de la torre grúa o el camión grúa para descargar la estructura de soporte en la azotea



Fuente: Propia

2. Armado de estructura de soporte en azotea del edificio. Tener en cuenta todas las partes indicadas en el capítulo del montaje y las distancias requeridas.



Fuente: Propia

3. Imagen del motor al centro de plataforma



Fuente: Propia

4. Plataforma de 6 metros suspendida, se observan las garruchas o ruedas inferiores para que se pueda movilizar fácilmente cuando este en el nivel de apoyo y además se observan ruedas en la parte frontal del equipo que sirven como tope al momento de descender por la fachada del edificio



Fuente: Propia



5. Distribución de personal (2 operarios) y herramientas en andamio colgante de 6 metros



Fuente: Propia

6. Andamios colgantes de 6 metros en frente muro ciego y frente Av. Santa Callao, realizando mantenimiento de pintura en fachada



Fuente: Propia